

RECUEIL de TRAVAUX

*COLLECTED REPRINTS*

N° 9

**Adresse** : CENTRE ORSTOM - B.P. A 5 - NOUMÉA - Nlle-CALÉDONIE (NEW-CALEDONIA)

SOMMAIRE

(CONTENTS)

- Informations sur l'activité du laboratoire (1980-1982). (*Progress Report 1980-1982*)
- Carte des campagnes effectuées (1980-1982). (*Map of Cruises carried out in 1980-1982*)
- Publications locales (*Local publications*)
- 243. RANCUREL, P. - Note pour servir à la connaissance de *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830) (*Cephalopoda oegopsida*): variations ontogéniques du bec supérieur. (*Note on Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830) *Cephalopoda oegopsida*: *ontogenic variations of the beak*).
- 244. BOUR, W. - Evolution récente des captures et des coûts de la pêche aux bonites (*Katsuwonus pelamis*) dans le Pacifique Sud-Ouest. (*Recent catches and costs evolution of the skipjack fishery in the South Western Pacific*).
- 245. HENIN, C. and J.R. DONGUY - *Sea surface salinity and temperature anomalies between New Caledonia and Japan (1969-1978)*. (*In English*).
- 246. DANDONNEAU, Y. - *Time and space variations of surface chlorophyll in the Pacific Ocean: first results*. (*In English*).
- 247. FOURMANOIR, P. et J. RIVATON - *Plectranthias randalli* n. sp. un nouveau Serranidé (Anthiiné) du Sud-Ouest Pacifique. (*Plectranthias randalli*, n. sp., *a new Serranidae (Anthiinae) from the Southwest Pacific Ocean*).
- 248. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Surface conditions in the eastern equatorial Pacific related to the intertropical convergence zone of the winds*. (*In English*).
- 249. HENIN, C. and J.R. DONGUY - *Heat content changes within the mixed layer of the Equatorial Pacific Ocean*. (*In English*).
- 250. BOELY, T., F. CONAND et J. MUYARD - *L'appât vivant dans le Pacifique Tropical Centre et Ouest*. (*Baitfish in the tropical central and western Pacific Ocean*).
- 251. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Climatic Teleconnections in the Western South Pacific with El Nino phenomenon*. (*In English*).
- 252. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Two types of hydroclimatic conditions in the South-Western Pacific*. (*In English*).
- 253. MEYERS, G., D.R. Mc LAIN and J.R. DONGUY - *Variation of the Pacific North Equatorial Countercurrent observed by ships-of-opportunity*. (*In English*).
- 254. CONAND, C. - *Sexual cycle of three commercially important Holothurian species (Echinodermata) from the lagoon of New Caledonia*. (*In English*).
- 255. DONGUY, J.R. and C. HENIN - *Hydroclimatic anomalies in the South Pacific*. (*In English*).
- 256. BOUR, W., J. MARCILLE et J.P. REBERT - *Pêche thonière et conditions hydrologiques dans le Pacifique tropical ouest*. (*Tuna fishing and hydrological conditions in the Western Tropical Pacific*).
- 257. PETIT, M. et F. MARSAC - *Pêche et Télédétection: présentation des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans le Pacifique tropical sud*. (*Fisheries and Remote Sensing: Aerial Radiometry and Tuna Survey in the South Tropical Pacific*).
- 258. HOFFSCHIR, C. et F. CONAND - *Nouveau grément de filet à plancton pour la capture de larves de thons*. (*New method of riging a plankton net for the capture of Tuna larvae*).
- 259. CONAND, F. - *The abundance of larvae of the gilt Sardine of the Northwest Africa stock in relation to the fishery*. (*In English*).
- 260. DANDONNEAU, Y. - *Recession of chlorophyll-poor surface waters during winter in the Southwestern Pacific*. (*In English*).

261. DESSIER, A. - *Use of merchant ships for collecting zooplankton. (In English).*
262. ROUGERIE, F. - *Evaporation and Salinity survey in French Polynesia. (In English).*
263. DONGUY, J.R. - *Pour une meilleure prévision des conditions climatiques. (For better climatic forecasts to be obtained).*
264. DONGUY, J.R., C. HENIN, A. MOLIERE, J.P. REBERT and G. MEYERS - *Appearances in the Western Pacific of phenomena induced by El Nino in 1979-1980. (In English).*
265. BINET, D. - *Relationship between climate and Fishery in the gulf of Guinea. (In English).*
266. BOUCHET, P. et W. BOUR - *La pêche au troca en Nouvelle-Calédonie. (Trochus fishing in New Caledonia).*
267. CONAND, C. - *Bêche-de-mer en Nouvelle-Calédonie : évolution du poids et de la longueur de quelques espèces d'holothuries au cours de leur préparation. (Bêche-de-mer in New Caledonia : weight loss and shrinkage during processing in three species of Holothurians).*
268. OUDOT, C. - *Continuité zonale et circulation méridienne du maximum de nitrite dans le Pacifique Equatorial Sud-Ouest. II : Interprétation : un aspect de la régénération des sels nutritifs. (Zonal continuity and meridian circulation of the nitrite maximum in the Southwest Equatorial Pacific. II : Interpretation : a look at the regeneration of nutrients).*
269. BINET, D. - *Le zooplancton du plateau continental ivoirien. Essai de synthèse écologique. (Shelf zooplankton of the Ivory Coast : a tentative ecological synthesis).*
270. FOURMANOIR, P. - *Pêche profonde en Nouvelle-Calédonie. (Deep fishing in New Caledonia).*
271. CONAND, F. et T. BOELY - *Résultats des campagnes de prospection d'appât vivant en Nouvelle-Calédonie. (Results of exploratory fishing for live-bait in New Caledonia).*

#### ABSTRACTS

*(In English)*

272. DONGUY, J.R., S. BEGAUD, R. EBSTEIN and B. CALVEZ - *Sea surface temperature and the formation of tropical storms in the South Pacific.*
273. BINET, D., Y. DANDONNEAU, J.R. DONGUY, B. de GEOFFROY and C. HENIN - *Relationships between oceanographic parameters routinely collected by a merchant ship.*
274. HENIN, C., G. MEYERS and J.P. REBERT - *Variation, in baroclinic structure on shipping routes from New Caledonia to Japan, California and Panama.*
275. REBERT, J.P., A. MORLIERE and C. HENIN - *The sea surface salinity variations in the Intertropical Central and Western Pacific Ocean.*
276. DONGUY, J.R., and C. HENIN - *An expandable bathythermograph and sea-surface temperature experiment in the Eastern and Western Pacific.*
277. ROGER, C. - *Macroplankton and Micronekton of the Tropical Atlantic Ocean - I : Biomasses and Taxonomic composition.*
278. ROGER, C. - *Macroplankton and Micronekton of the Tropical Atlantic Ocean - II : Phosphorus and Nitrogen Cycles, with notes on the measure of Secondary Production.*
279. ROGER, C. - *Bioecological sheets on Tropical Pacific Euphausiids.*
280. PETIT, M. and F. GOHIN - *Aerial Radiometry and Tuna Survey : New Caledonia.*
281. PETIT, M. and C. HENIN - *Aerial Radiometry and Tuna Survey : Vanuatu.*
282. PETIT, M. and M. KULBICKI - *Aerial Radiometry and Tuna Survey : French Polynesia.*
283. MARCILLE, J. and W. BOUR - *Purse Seine and Pole-and-Line Tuna Fisheries in the Tropical Pacific Ocean.*

**PRINCIPALES ACTIVITES DU LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE  
DU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA  
EN 1980 - 1982**

Les recherches en cours en 1980 - 1982 se répartissent en cinq programmes qui correspondent à cinq grands objectifs : la connaissance de l'Océan Pacifique tropical, la connaissance plus approfondie de l'océanographie de la région de Nouvelle-Calédonie, l'étude de l'écologie du lagon de Nouvelle-Calédonie, la gestion des stocks de thonidés exploitables à partir de Nouméa, et l'évaluation des divers stocks halieutiques accessibles à la pêche artisanale en Nouvelle-Calédonie.

— **Hydroclimat et productivité de l'océan Pacifique tropical** —

Ce programme est basé sur une collaboration bénévole des équipages des navires marchands, qui, le long de leur route, toutes les quatre ou six heures, échantillonnent la température, la salinité, et la teneur en chlorophylle de la surface de la mer, et le profil thermique entre la surface et 460 m de profondeur à l'aide d'XBT ; le zooplancton est également récolté chaque nuit. Plus de 90 000 données de salinité sont actuellement disponibles. Les liaisons internationales sont nombreuses et fortes dans ce programme, notamment avec la Scripps Institution of Oceanography qui nous fournit les sondes XBT. Les travaux actuels portent sur les anomalies liées au phénomène "El Nino", et sur la répartition de la chlorophylle et du zooplancton dans le Pacifique tropical.

**Participants :** Chercheurs = Jean-René DONGUY, Jean-Paul REBERT, Christian HENIN, Yves DANDONNEAU, Alain DESSIER, Alain MORLIERE.

Techniciens = Maryse SICARD, Pierre WAIGNA, Marie-Josée LANGLADE, Henri WALICO, Philippe MOLL.

Volontaires Aide Technique = Bernard CALVEZ, Jean-François RACAPE.

— **Etude océanographique de la zone économique de Nouvelle-Calédonie** —

Les recherches entreprises dans le cadre de ce programme visent à une meilleure connaissance de l'océanographie du Pacifique tropical sud-ouest aux alentours de la Nouvelle-Calédonie, où s'implante une pêcherie thonière. Deux catégories d'opérations ont dominé ce programme : des prospections aériennes, réalisées dans le cadre d'un contrat entre l'ORSTOM et le TERRITOIRE de la Nouvelle-Calédonie, ont mis en évidence la présence de nombreux bancs de thons dans la zone économique ; elles permettent une première évaluation du stock disponible ; une approche de la relation entre les thons et l'environnement était rendue possible grâce à des mesures de la température de surface de la mer au moyen d'un radiomètre fixé sous l'avion.

Une connaissance plus détaillée de cet environnement a été fournie par des campagnes océanographiques (HYDROTHON 4 à 7) à bord du N.O. CORIOLIS, mis à notre disposition par le CNEXO. Ces campagnes ont atteint leur objectif, qui était une première description des principaux caractères de la région, et notamment des courants (opération CIRCAL). Les campagnes océanographiques à venir auront pour thème l'étude des effets d'îles qui semblent être la particularité dominante pour l'océanographie de la région.

**Participants :** Chercheurs = Christian HENIN, Yves DANDONNEAU, Alain MORLIERE, Jean-Paul REBERT, Michel PETIT.

Techniciens = Jean-Louis CREMOUX, Jean-Maurice GUILLERM, Henri FERRER, Pierre WAIGNA, Henri WALICO.

Volontaires Aide Technique = Hervé CARDINAL, Luc CHABERT, Didier VUILLARD, Francis MARSAC, Francis GOHIN.

— **Ecologie du lagon de Nouvelle-Calédonie** —

Les deux dernières missions de scientifiques de la Station Marine d'Endoume, prévues par l'accord CNRS-ORSTOM, ont eu lieu en janvier 1980 et en octobre-novembre 1981. Elles apportent une contribution à la connaissance de l'écologie du milieu benthique du lagon, dont la diversité spécifique et le morcellement en biotopes sont poussés à l'extrême. Ces études sur l'écologie du benthos se poursuivent néanmoins dans le cadre d'un programme qui lie par une convention l'ORSTOM, le CNRS, et l'industrie pharmaceutique française, et qui a pour objectif de rechercher parmi les organismes marins benthiques des substances d'intérêt pharmacologique.

Le milieu liquide du lagon est régulièrement observé depuis le mois d'avril 1979, à un point fixe à proximité de Nouméa : le plancton, et les propriétés physicochimiques de l'eau du lagon sont ainsi échantillonnés chaque semaine, afin de décrire sur une longue série d'observations les grands traits des variations annuelles et leurs causes. Parallèlement, durant l'année 1981, des courantomètres ont été placés à proximité de cette station, afin de connaître en fonction du vent et de la marée, le courant qui anime la masse d'eau observée.

**Participants :** Chercheurs = Denis BINET, Alain MORLIERE.

Techniciens = Jean-Louis CREMOUX, Jean-Maurice GUILLERM, Philippe MOL, Henri WALICO, Henri MEITE, Pierre LABOUTE, Georges BARGIBANT, Jean-Louis MENU.

Volontaires Aide Technique = Hervé CARDINAL, Luc CHABERT.

#### — Biologie et gestion rationnelle des thonidés du Pacifique sud-ouest —

A la demande de la Direction des Pêches Maritimes (ministère des transports), une synthèse des connaissances en matière de ressources thonières dans le Pacifique, a été rédigée. Cette synthèse, réalisée à partir des données de pêches étrangères (Japon, USA, Philippines, Nouvelle-Zélande), préluait à l'implantation d'une pêcherie thonière industrielle à Nouméa ; un canneur a en effet commencé à pêcher dans les eaux calédoniennes à partir de Nouméa en août 1981.

Les thons qui fréquentent la zone économique de Nouvelle-Calédonie, principalement *Katsuwonus pelamis* et *Thunnus albacares*, sont migrateurs, et la zone économique est très vaste. La pêche thonière aura besoin de connaissances sur ces migrations, et sur les lieux de concentration les plus probables. Cet objectif est commun à ce programme et aux prospections aériennes citées ci-dessus ; avec l'acquisition et le traitement des statistiques de pêche, il constituera l'essentiel de l'activité au sein de ce programme.

**Participants :** Chercheurs = Jacques MARCILLE, William BOUR, François CONAND.

Technicien = Christian HOFFSCHIR.

#### — Etude des pêcheries des eaux côtières et lagunaires de Nouvelle-Calédonie —

En raison du découpage du milieu et de la variété des espèces exploitées et des méthodes de capture, caractères propres aux milieux coralliens, ce programme est lui aussi divisé en opérations relativement indépendantes, chacune portant sur une espèce ou un groupe d'espèces, et une technique de pêche.

+ Les **trocas** (*Trochus niloticus*) sont l'objet depuis longtemps d'une pêche traditionnelle ; bien souvent, et notamment à l'heure actuelle, des signes de surexploitation sont apparus. Il importe donc de connaître les divers paramètres dynamiques de ce stock afin que la législation relative à cette pêche puisse tenir compte du maximum de connaissances.

**Participants :** Chercheur = William BOUR.

Techniciens = Christian HOFFSCHIR, Philippe TIRARD.

Volontaire Aide Technique = Francis GOHIN.

+ Un très lourd handicap pour la pêche en Nouvelle-Calédonie est constitué par l'**ichtyosarcotoxisme** ou "gratte", commun dans les milieux coralliens, et qui rend parfois la chair des poissons toxique, sans qu'il soit possible de le savoir avec certitude à l'avance. Les poissons qui vivent sur le tombant récifal externe, vers 400 m de profondeur, ne présentent pas cet inconvénient, et semblent assez abondants. Le stock qu'ils représentent est en cours d'évaluation ; la technique de prospection utilisée est la palangre profonde.

**Participants :** Chercheur = Pierre FOURMANOIR.

Responsable actuel : Mamadou BARRO.

Techniciens = Henri MEITE, Philippe TIRARD.

+ Les **Holothurles** sont communes dans les lagons coralliens. Certaines, après préparation, sont consommées sur les marchés asiatiques. L'inventaire du stock présent en Nouvelle-Calédonie est en cours. Les paramètres dynamiques de ce stock sont souvent difficiles à estimer à cause de la biologie très particulière de ces espèces. Croissance, reproduction, répartition, sont étudiées sur un cycle annuel.

**Participants :** Chercheur = Chantal CONAND.

Technicien = Christian HOFFSCHIR.

+ La technique de pêche thonière la plus adaptée, du moins dans un premier temps, autour de la Nouvelle-Calédonie, est la pêche à l'**appât vivant**. Dans beaucoup d'îles du Pacifique, les ressources en appât sont insuffisantes et peuvent constituer le principal facteur limitant la pêche thonière. L'inventaire des stocks d'appâts (sardines, prêtres, anchoix, maquereaux...) de Nouvelle-Calédonie est en cours, ainsi que la description de ses variations au cours de l'année, dans le cadre d'une convention liant l'ORSTOM et le TERRITOIRE. La technique de pêche utilisée est le filet "bouki-ami" avec un lamparo. La prospection est faite à partir d'un navire océanographique, et depuis qu'une pêcherie thonière s'est implantée à Nouméa, les statistiques de pêche d'appât sont recueillies et analysées.

**Participants :** Chercheurs = Thierry BOELY, François CONAND.

Techniciens = Jacques RIVATON, Christian HOFFSCHIR.

— **Moyens communs utilisés** —

Le Centre ORSTOM de Nouméa dispose de trois bateaux :

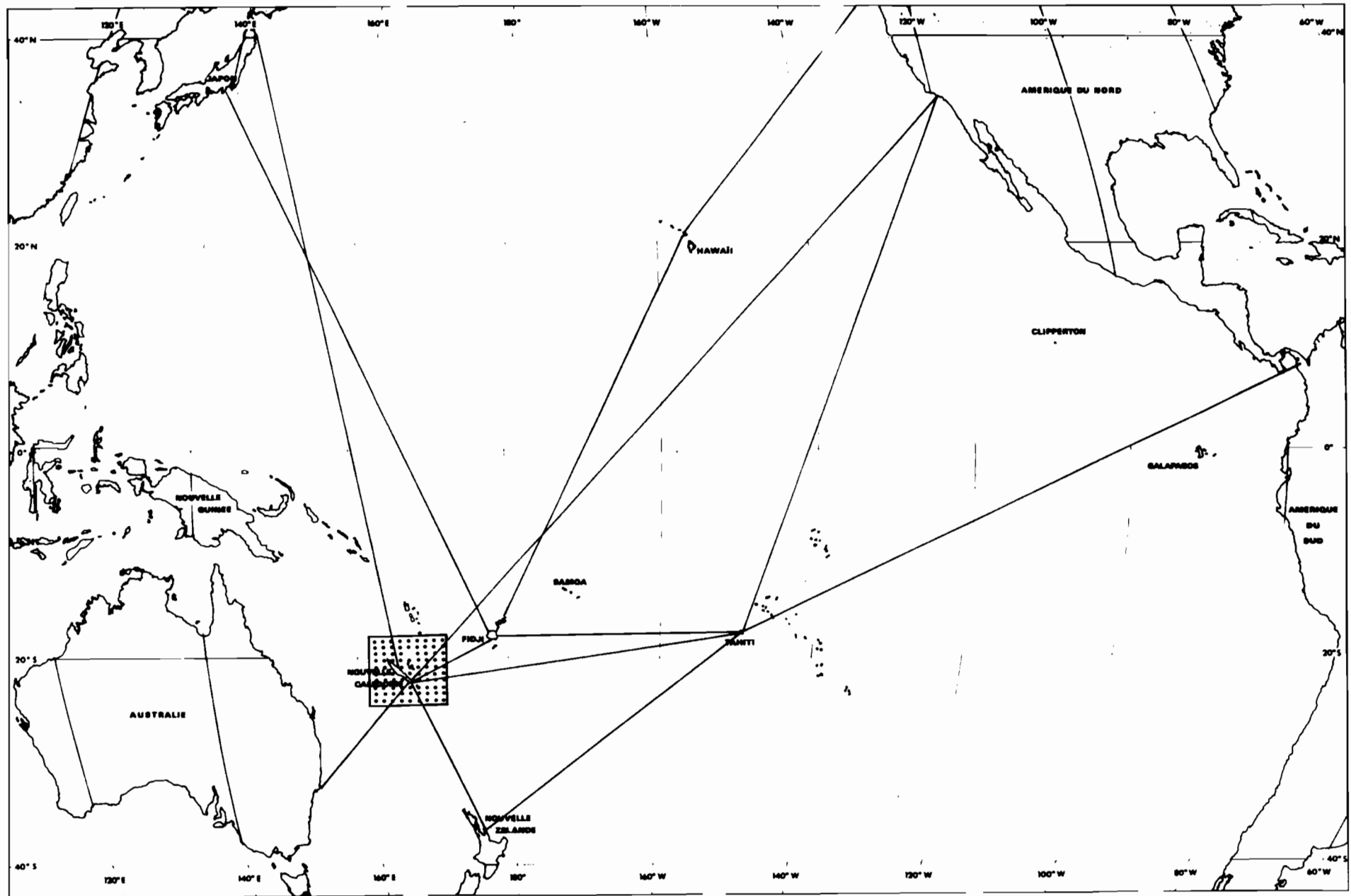
— Le navire océanographique VAUBAN, chalutier de 25 m équipé d'un treuil de pêche, d'un treuil hydrologique, et d'un laboratoire de 21 m<sup>2</sup> climatisé et alimenté en 220 volts régulé.

— La vedette DAWA, de 11 m, principalement utilisée pour le travail en plongée dans le lagon.

— La vedette SANTA MARIA, de 8 m, pour la station côtière et les sorties à proximité de Nouméa.

De plus, le navire océanographique CORIOLIS, de 38 m, équipé de deux laboratoires, sec et humide, et de moyens de levage complets, est mis par le CNEXO à la disposition de l'ORSTOM pour les longues campagnes océanographiques.

La gestion et l'analyse des données numériques scientifiques sont facilitées par un bureau calcul qui met à la disposition des chercheurs un micro-ordinateur HP 9845 et, depuis peu, un mini-ordinateur HP 1000.



— Trajets Bateaux Marchands



zone d'étude concernée par 1 autres programme

**PUBLICATIONS LOCALES (LOCAL PUBLICATIONS) :**  
**"RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES"**

**DU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA**

Depuis 1978, les résultats des campagnes, et, dans certains cas, les versions provisoires ou partielles de futures publications, sont publiés localement sous forme multigravée. Les titres ci-après sont parus à ce jour.

*(Since 1978, cruise reports, and a few progress reports on several research programs, are published locally. Up to now, the following titles have been edited) :*

- 1 - LOUBENS, G. - 1978 - La pêche dans le lagon néo-calédonien. (*Fishing in the New Caledonian Lagoon*). 52 pp.
- 2 - INTES, A. - 1978 - Pêche profonde aux casiers en Nouvelle-Calédonie et îles adjacentes. Essais préliminaires. (*Deep trapping trials in New Caledonia and nearby Islands*). 20 pp.
- 3 - INTES, A. et J.L. MENOUE - 1979 - Quelques Holothuries (*Echinodermata*) des environs de Nouméa et leur répartition. (*A few Holothurians (Echinodermata) found near Noumea, and their distribution*). 25 pp.
- 4 - OUDOT, C. *et al.* - 1979 - Rapport de la campagne EPONITE 2 à bord du N.O. CORIOLIS, 20 août - 1<sup>er</sup> octobre 1976. (*Cruise Report : "EPONITE 2" on board R.V. CORIOLIS, August 20 - October 1st 1976*). 21 pp.
- 5 - JARRIGE, F., P. BOURRET et J.M. GUILLERM - 1979 - Observation d'une zone de frontière thermique dans le sud-ouest du Pacifique. (*Observation of a zone of thermal changes in the South Western Pacific*). 11 pp.
- 6 - MUYARD, J. - 1980 - Etat des connaissances sur l'appât vivant utilisable par les canneurs en Nouvelle-Calédonie. (*Present knowledge on baitfish to be used by the tuna pole-and-line fishery in New Caledonia*). 18 pp.
- 7 - BOELY, T., F. CONAND et J. MUYARD - 1980 - L'appât vivant dans le Pacifique Tropical Centre et Ouest. (*Baitfish in the Tropical Central and Western Pacific Ocean*). 37 pp.
- 8 - CONAND, F. *et al.* - 1980 - Rapport de la campagne HYDROTHON 02 à bord du N.O. CORIOLIS, 22 février-29 mars 1979. (*Cruise Report : "HYDROTHON 02" on board R.V. CORIOLIS, February 22 - March 29, 1979*). 23 pp.
- 9 - HENIN, C. *et al.* - 1980 - Rapport de la campagne THON-AUSTRALES 01 à bord du N.O. CORIOLIS, 1<sup>er</sup> février-1<sup>er</sup> avril 1978. (*Cruise Report : "THON AUSTRALES 01" on board R.V. CORIOLIS, February 1st - April 1st 1978*). 38 pp.
- 10 - HENIN, C. *et al.* - 1980 - Résultats de la campagne HYDROTHON 03 à bord du N.O. CORIOLIS, 19 juin - 13 juillet 1979. (*Cruise Report : "HYDROTHON 03" on board R.V. CORIOLIS, June 19 - July 13, 1979*). 58 pp.
- 11 - GUILLERM, J.M. - 1980 - Courantométrie de surface au moyen du G.E.K. à bord du N.O. VAUBAN de 1978 à 1980 : méthodologie, technique de mesure et traitement des données brutes. (*Measuring Surface Currents with G.E.K. on board N.O. VAUBAN, from 1978 to 1980*). 107 pp.
- 12 - CREMOUX, J.L. - 1980 - Résultats des croisières "Productivité" du Centre ORSTOM de Nouméa (1970-1976). (*Cruise Report : "Productivity" investigations, 1970-1976*). 116 pp.
- 13 - CREMOUX, J.L. - 1980 - Résultats des croisières "Equatoriales" du Centre ORSTOM de Nouméa (1971). (*Cruise Report : "Equatorial" investigations, 1971*). 81 pp.
- 14 - CREMOUX, J.L. - 1980 - Résultats des croisières "Tropicales" du Centre ORSTOM de Nouméa (1967-1977) - Première partie : Pacifique Ouest. (*Cruise Report : "Tropical" investigations, 1967-1977, 1st part : Western Pacific*). 107 pp.
- 15 - CREMOUX, J.L. - 1980 - Résultats des croisières "Tropicales" du Centre ORSTOM de Nouméa (1967-1977) - Deuxième partie : Pacifique Central. (*Cruise Report : "Tropical" investigations, 1967-1977, 2nd part : Central Pacific*). 87 pp.



- 16 - CREMOUX, J.L. - 1981 - Résultats des croisières faites le long de l'équateur par le Centre ORSTOM de Nouméa (1964-1975). (*Cruise Report : investigations in the Equatorial Pacific*). 91 pp.
- 17 - ANONYME - 1981 - Résultats des croisières tropicales Sud du Centre ORSTOM de Nouméa (1964-1965). (*Cruise Report : "South Central" investigations, 1964-1965*). 63 pp.
- 18 - HENIN, C. *et al.* - 1981 - Rapport de la campagne HYDROTHON 04 à bord du N.O. CORIOLIS, 31 janvier - 12 février 1981. (*Cruise Report : "HYDROTHON 04" on board R.V. CORIOLIS, January 31 - February 12, 1981*). 48 pp.
- 19 - MORLIERE, A. et J.L. CREMOUX - 1981 - Observations de courant dans le lagon, de février à août 1981. (*Currents observed in the lagoon from moored currentmeters between February and August 1981*). 54 pp.
- 20 - HENIN, C. *et al.* - 1981 - Rapport des transits valorisés à bord du N.O. CORIOLIS NCT 2 et TNC 2. (*Scientific observations during transits NCT 2 and TNC 2 between New Caledonia and Tahiti*). 23 pp.
- 21 - ANONYME - 1982 - La Salinité de la surface de la mer dans le Pacifique Tropical Ouest de 1975 à 1980. (*Surface Salinity in the Tropical Western Pacific between 1975 and 1980*). 68 pp.
- 22 - ANONYME - 1982 - La Salinité de la surface de la mer dans le Pacifique Tropical Est de 1970 à 1980. (*Surface Salinity in the Tropical Eastern Pacific between 1970 and 1980*). 66 pp.
- 23 - DANDONNEAU, Y. *et al.* - 1981 - Résultats de la campagne HYDROTHON 05 à bord du N.O. CORIOLIS, 2-12 juin 1981. (*Cruise Report : "HYDROTHON 05" on board R.V. CORIOLIS, June 2-12, 1981*). 38 pp.
- 24 - DANDONNEAU, Y. *et al.* - 1981 - Résultats de la campagne HYDROTHON 06 à bord du N.O. CORIOLIS, 7-17 août 1981. (*Cruise Report : "HYDROTHON 06" on board R.V. CORIOLIS, August 7-17, 1981*). 43 pp.
- 25 - HENIN, C., L. CHABERT et J.M. GUILLERM - 1982 - Observations de surface à bord du N.O. VAUBAN de 1978 à 1980. (*Surface observations on board N.O. VAUBAN from 1978 to 1980*). 121 pp.
- 26 - LE GALL, J.Y., J.P. HALLIER, F. GALLET et H. WALICO - 1982 - Résultats de la campagne PROSGERMON à bord du N.O. CORIOLIS, 12 février - 4 mars 1982. (*Cruise Report : "PROSGERMON" on board R.V. CORIOLIS, February 12 - March 4, 1982*). 60 pp.



**Note pour servir à la connaissance  
de *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830)  
(Cephalopoda, OEGopsida) :  
Variations ontogéniques du bec supérieur**

Paul RANCUREL

Océanographe biologiste, O.R.S.T.O.M.-Nouméa,  
B.P. n° AS, Nouvelle-Calédonie  
et Faculté des Sciences Saint-Jérôme,  
Laboratoire de Zoologie Marine, 13397 Marseille Cedex 4

**RÉSUMÉ**

Un lot de 45 *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830) a été collecté par le navire de pêche japonais *Daito Maru* dans la nuit du 24 au 25 janvier 1973 au large de la passe Boulari (Nouvelle-Calédonie). Une étude de ce lot a été tentée. Un premier résultat concerne le brunissement des becs en fonction du sexe, de la taille et de la maturité sexuelle. Ces informations trouvent leur intérêt dans l'étude des becs de Calmars rencontrés dans les contenus stomacaux de prédateurs variés. Une clef est donnée permettant de connaître le sexe et la taille des Céphalopodes ingérés.

**ABSTRACT**

A sample of 45 *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson 1830) has been collected by the Japanese squid fishing boat *Daito Maru* during the night of 24th January 1973, off the Boulari channel (New Caledonia). A tentative study of this sample has been done. A first result concerns the darkening of beaks in correlation with body-length and sexual maturity. The importance of these results lies in the study of Cephalopod beaks found in the stomach contents of many predators. By a key, determination of sex and dorsal mantle-length of preyed *Symplectoteuthis* become possible.

Fondation Singer-Polignac, 43, avenue Georges-Mandel, 75016 Paris,  
Cahiers de l'Indo-pacifique, Volume 2, n° 2, p. 217-232, ISSN 0180-9954.

## INTRODUCTION

Dans la nuit du 24 au 25 janvier 1973 le navire japonais de pêche aux Calmars *Daito Maru* a effectué, à notre intention, un essai de pêche au large de la passe de Boulari (Nouméa-Nouvelle-Calédonie) de 20 h 00 à 4 h 00 du matin. Réparties sur 23 treuils de pêche automatique, 46 lignes, comportant chacune 30 turlottes en plastique de couleurs variées, ont ainsi pêché pendant 8 heures consécutives, sous l'éclairage de cinquante ampoules de 3 000 W. Une cinquantaine de *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson) ont été ainsi capturés. Bien que les conditions météorologiques (vent fort et lune à son premier quartier) aient été des plus défavorables, la quantité de Calmars pêchés peut être considérée comme insignifiante eu égard aux moyens mis en œuvre.

## 1. COMPOSITION DU LOT PÊCHÉ

Les captures faites, à intervalles irréguliers, semblent avoir été prélevées sur des populations fluctuantes rencontrées au cours de la dérive du navire, donnant l'impression que de petits groupes d'individus de tailles égales avaient été captés par l'émission lumineuse des ampoules et rassemblés pour un temps autour du navire. Le lot de Calmars était constitué, pour sa plus grande majorité, par des individus présentant une grande tache ovale dorsale, lumineuse. Cette tache <sup>(1)</sup> émettait une lueur jaune d'or à l'état vivant, que les tissus de l'animal soient foncés ou transparents. Aucune des émissions bleues signalées par ROPER (1963) n'ont été vues. Mais les Calmars étant pêchés de façon automatique et convoyés par gouttières jusqu'aux chambres froides ont pu épuiser leur émission de lumière bleue au cours du transit (photo 1).

Les autres individus qui ne présentaient pas de champ dorsal de photophores n'étaient présents qu'en tout petit nombre, et ne comportaient que des animaux de taille inférieure à celle des individus lumineux.

---

(1) Il s'agit donc de la « grande espèce » signalée par CLARKE (1966), sympatrique d'une autre « espèce » plus petite, sans tache lumineuse dorsale, dont la croissance paraît être plus rapide, ainsi que la maturité sexuelle. Les becs de cette « forme » sont facilement séparables de ceux de *S. oualaniensis* (Lesson) proprement dit.



Photo 1. — Un des *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson) pêchés par le *Daito Maru*. Les tissus de l'animal sont transparents, chromatophores contractés; la tache lumineuse dorsale, jaune d'or, est bien visible en avant du manteau. La main donne l'échelle.

Les mensurations, suivies le cas échéant de dissection de contrôle, conduisent à classer les mâles et les femelles en deux groupes bien distincts (*fig.* 1-2).

Dans le cas des mâles, un lot d'immatures, bien distinct, se détache du groupe des adultes en reproduction dont la longueur palléale dorsale ne dépasse pas 167 mm. Les femelles, par contre, de tailles plus élevées (240 mm maximum), font apparaître, à côté d'un groupe d'immatures bien

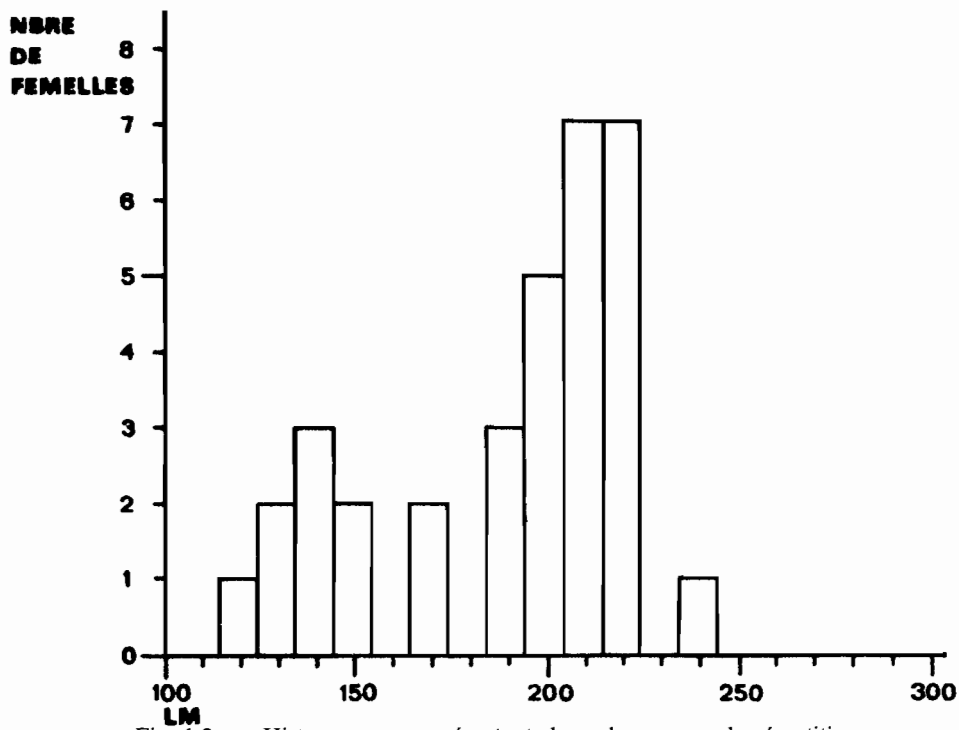
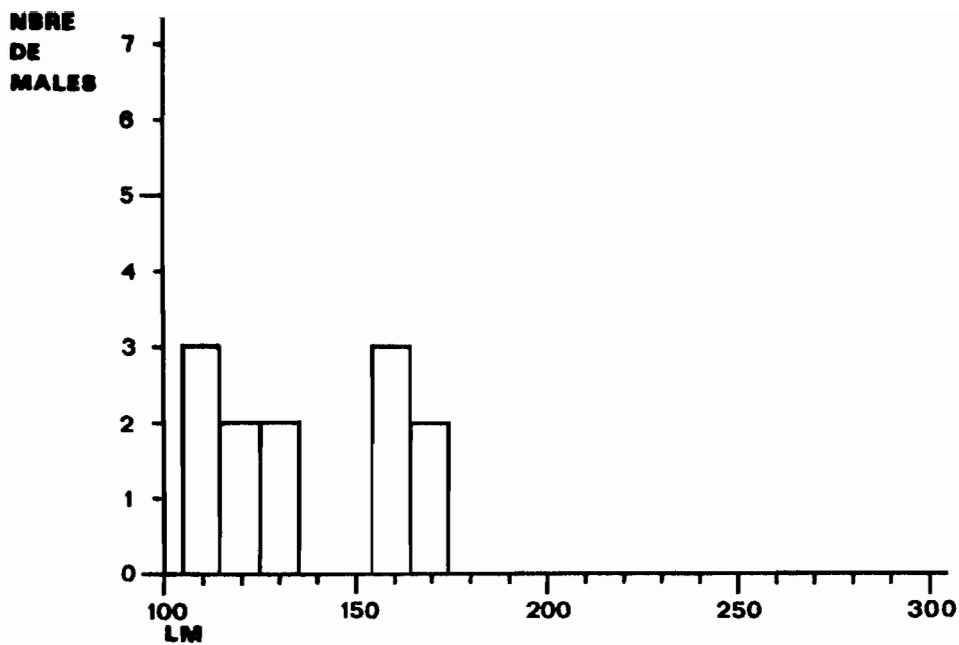


Fig. 1-2. — Histogrammes représentant dans chaque sexe la répartition des tailles. LM = longueur palléale dorsale en millimètres

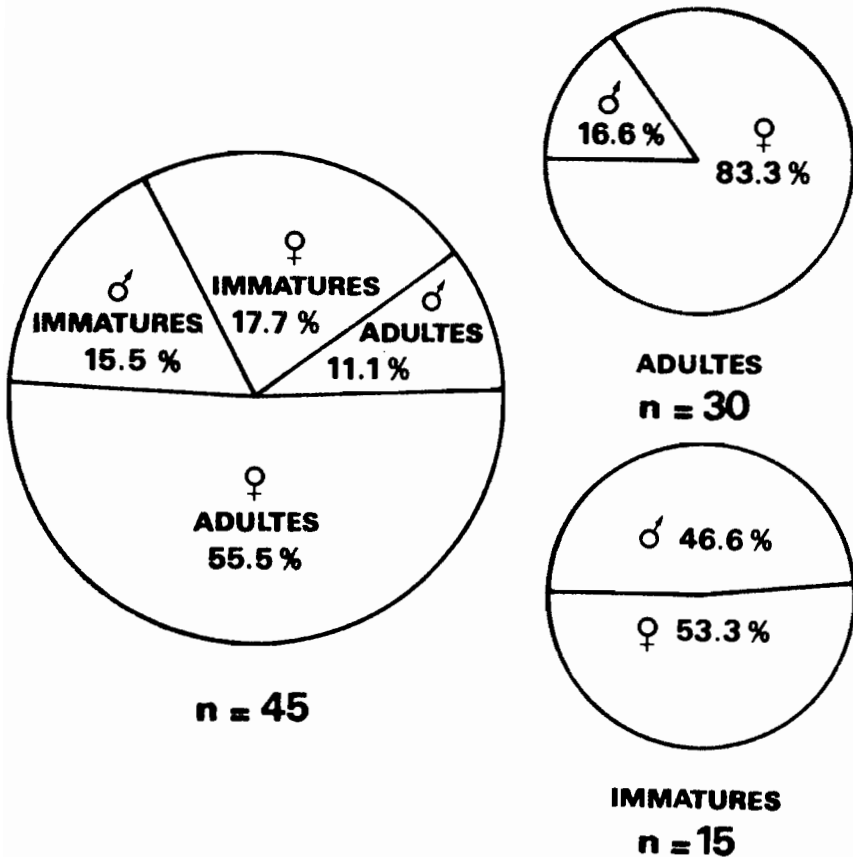


Fig. 3. — Répartitions des sexes : chez le lot total de 45 individus, puis au-dessous, chez les adultes et les immatures (voir tableau I)

isolé, un pic important d'individus aux ovaires mûrs, en cours de reproduction (LM 220 mm) (présence de spermatophores dans la cavité péri-buccale) et pour lesquels les contours de l'histogramme, paraissant moins nets, peuvent laisser supposer la présence de reliques de classes plus jeunes et plus vieilles. La maturité sexuelle semble donc atteinte, chez *Symplectoteuthis oualaniensis* à champ photophorique dorsal, pour une longueur palléale dorsale comprise pour les mâles entre 140 et 150 mm, et pour les femelles aux alentours de 160 mm. Il est également intéressant de noter que si, chez les adultes, les femelles sont de loin les plus abondantes et les plus grosses (75,7 %; longueurs comprises entre 170 et 240 mm, contre

24,3 % et 155/167 mm pour les mâles), chez les immatures, la proportion des sexes est assez semblable (53,3 % de femelles pour 46,7 % de mâles) et les tailles sont très voisines (120-150 mm chez les femelles et 110-130 chez les mâles) avec toujours un léger avantage du côté des femelles (*fig. 3*).

Quoiqu'il en soit, la pêche du *Daito Maru* présentait des individus à tous les stades de développement depuis les jeunes immatures de longueur palléable voisine de 100 mm (26,6 %) aux individus âgés, de 167 à 240 mm (73,4 %) permettant ainsi une étude de l'évolution du bec au cours de la croissance (*fig. 3*). On doit pourtant remarquer que le lot examiné ne représente certainement pas un échantillonnage exact de la population, le mode de pêche étant plus sélectif pour certaines tailles d'individus.

TABLEAU I

	Mâles	Femelles	TOTAUX
Immatures.....	7	8	15
Adultes.....	5	25	30
TOTAUX.....	12	33	45

### 2.1. IDENTIFICATION DES BECS DE *S. oualaniensis* <sup>(2)</sup>

Dans la famille des Ommastrephidae le bec supérieur est caractérisé (CLARKE, 1962 *a*, MANGOLD et FIORONI, 1966) par une épaule en général saillante, arrondie en forme de « dent », formant avec le rostre un angle mandibulaire aigu. Les parois latérales sont trapues, avec une crête relativement longue. La présence d'un cartilage scapulaire parfois transitoire est notée.

Si l'on considère la partie antérieure de la crête qui vient se souder au rostre, on peut remarquer que son apex antérieur, que l'on nommera palais, porte parfois des sillons très visibles (*photo 2, fig. 4 et 6*). C'est en fait la jonction du prolongement de la crête (7) avec l'extrémité du rostre

<sup>(2)</sup> La présente étude suit les dénominations adoptées par CLARKE 1962, qui indique d'autre part les abaques relatives poids-longueur corps-bec de diverses familles.



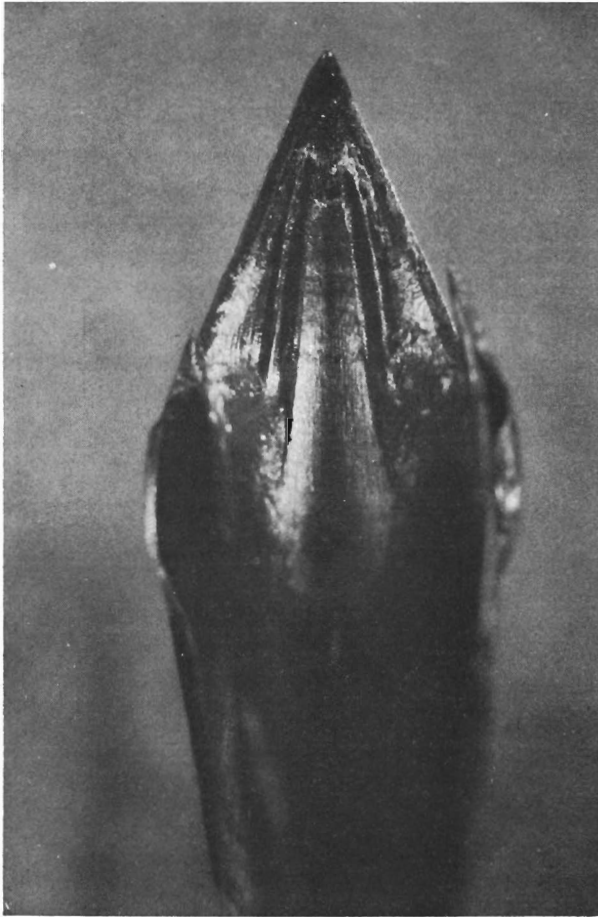


Photo 2. — Palais de *Symplectoteuthis oualaniensis* (Lesson)  
montrant les deux paires de rainures, séparées par la pièce centrale concave

qui forme la voûte joignant les bords tranchants de la partie rostrale. Ces sillons sont particulièrement remarquables dans les genres *Ommastrephes* et *Symplectoteuthis*. Par contre, les genres *Nototodarus*, *Todarodes*, *Ornithoteuthis*, *Hyaloteuthis*, *Illex*, *Todaropsis* n'en ont pas montré (je n'ai pu examiner le bec de *Dosidicus*).

Chez *Symplectoteuthis*, le palais se compose d'une partie médiane triangulaire, concave, se terminant sur le bord récurrent du rostre. De part et d'autre des abords de cette partie centrale et parallèlement à elle, court une seconde lamelle dressée que délimitent deux sillons latéraux (*fig. 6*).

Le premier sillon est limité par la pièce triangulaire centrale et la lamelle, le second par la lamelle et le bord mandibulaire dont les couches sont plus ou moins visibles. Vers l'arrière du bec, la lamelle se rapproche de l'épaule et s'y poursuit par un renflement qui va en s'atténuant. Cette structure différencie les becs de *Symplectoteuthis* de ceux d'*Ommastrephes* (fig. 6).

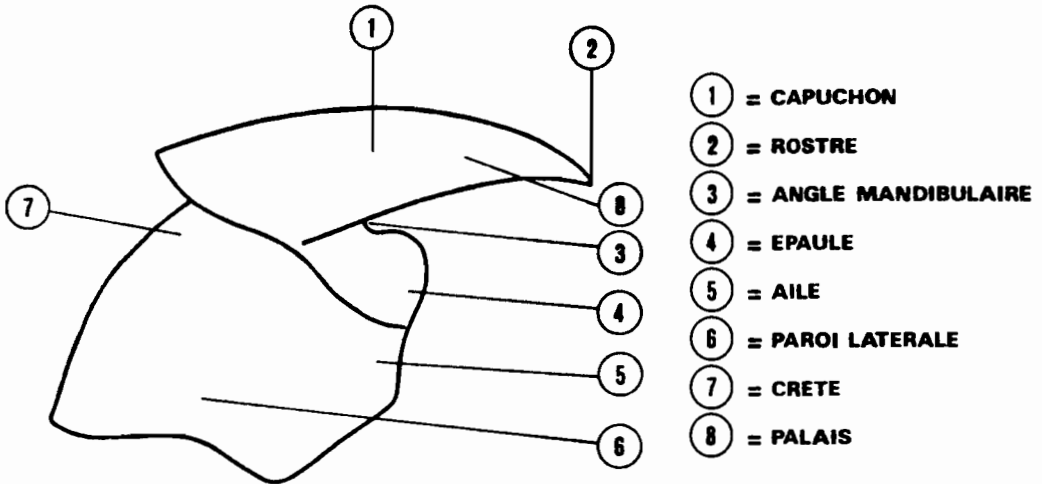


Fig. 4. — Nomenclature des différentes parties du bec supérieur

Chez *Ommastrephes pteropus* (du Golfe de Guinée) la structure est identique dans la disposition des sillons, mais la lamelle s'arrête net au niveau de l'extrémité de la pièce centrale, sans former de renflement.

Les becs d'*O. caroli* Furtado examinés ne montrent qu'un seul sillon latéral, mais ces becs étudiés étaient plus grands que ceux de *O. pteropus* et *Symplectoteuthis*.

Il semblerait donc que l'identification des becs supérieurs de *Symplectoteuthis*, qui forment une part importante dans l'alimentation des Poissons pélagiques et autres prédateurs marins, soit relativement aisée et sûre.

## 2.2. ÉTUDE DES MANDIBULES

### 2.2.1. Choix des mesures (fig. 4)

Les mesures effectuées sur les becs de céphalopodes récoltés dans les contenus stomacaux de Poissons pélagiques comme les Thunnidés portent

en général sur des becs de petite taille, incomplètement durcis, dont la mesure n'est pas très aisée et qui présentent en outre des cassures rendant certaines de ces mesures peu reproductibles. Il nous a paru nécessaire de tester certaines de ces mesures pour ne retenir que celles faciles à prendre et parfaitement reproductibles.

*Bec supérieur*, essais sur trois mesures :

C = longueur du capuchon;

R = longueur du rostre;

CR = longueur rostre-crête.

*Bec inférieur*, essais sur cinq mesures :

C = longueur du capuchon;

R = longueur du rostre;

CR = longueur de la crête;

P = longueur extrémité du rostre-angle inférieur de la paroi latérale;

A = hauteur extrémité postérieure du capuchon, extrémité inférieure de l'aile.

### 2.2.2. Résultats (tableau II)

(a) *Bec supérieur* : la mesure du rostre offre quelques difficultés à cause du faux angle et de l'épaulement (écart-type :  $\sigma = 2,514$ ). Les autres mesures semblent plus aisées à prendre et donnent le moins d'erreurs matérielles [capuchon (C) et crête (CR)]. Leur écart-type est réduit (0,929 pour les mâles, 0,532 pour les femelles) et le coefficient de corrélation  $r$  convenable (0,970 pour les mâles, 0,971 pour les femelles).

(b) *Bec inférieur* : le capuchon (C) et la crête (CR) donnent des mesures sujettes à variations, car souvent brisés, et fournissent des mesures peu sûres ( $\sigma = 9,29$ ; 4,92;  $r = 0,487$ ; 0,800). Il semblerait que, pour la partie inférieure du bec, les longueurs P (rostre-angle postérieur de la paroi latérale) et A (longueur de la base de l'aile au capuchon), soient les mesures les plus sûres et les plus faciles à prendre.

Pour des raisons de simplicité et de clarté nous ne retiendons dans ce travail que l'évolution ontogénique de la mandibule supérieure, ainsi que l'étude de la variation du rapport longueur palléale-dorsale/longueur de son capuchon, nous réservant de revenir éventuellement sur celle de la mandibule inférieure.

TABLEAU II

	Bec supérieur				Bec inférieur			
	♂		♀		♂		♀	
	$\sigma$	$r$	$\sigma$	$r$	$\sigma$	$r$	$\sigma$	$r$
C....	0,929	0,970	0,532	0,971	9,291	0,487	4,927	0,800
R....	2,514	0,938	2,119	0,935	3,276	0,937	1,734	0,969
CR...	1,718	0,556	0,495	0,965	3,391	0,705	1,047	0,950
P.....	-	-	-	-	1,031	0,964	0,836	0,953
A.....	-	-	-	-	1,487	0,947	0,625	0,970

### 3.1 CORRÉLATION ENTRE LA LONGUEUR PALLÉALE DORSALE ET LA LONGUEUR DU CAPUCHON

La droite de régression liant les mesures du capuchon à celles des longueurs palléales dorsales correspondantes, a été calculée tant pour les mâles que pour les femelles (*fig. 5*).

Les droites sont des fonctions linéaires de ces deux variables et les formules calculées en sont :

pour les mâles :  $y = 0,089 x - 1,94$ ;

pour les femelles :  $y = 0,093 x - 2,30$ .

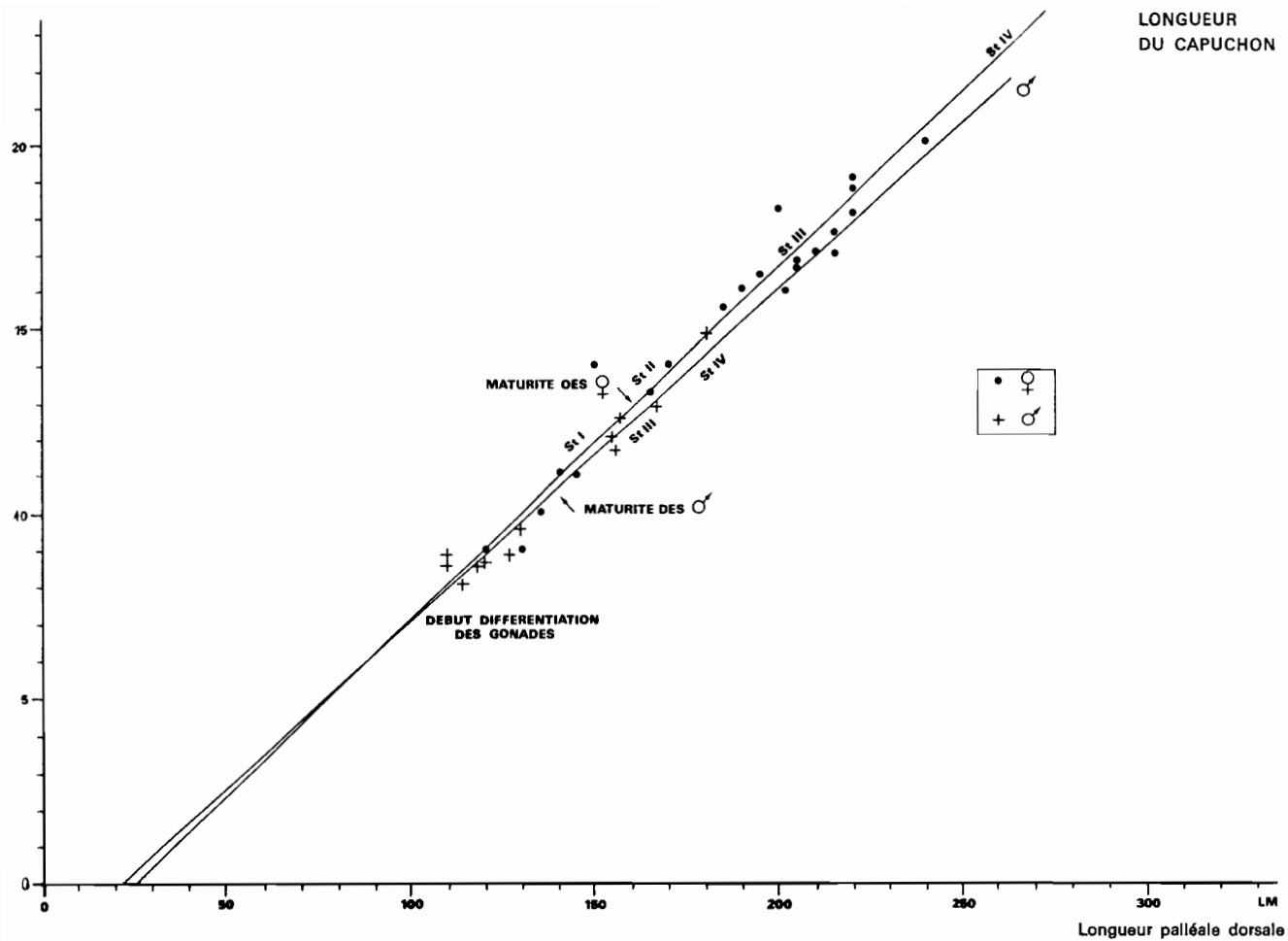
Les coefficients angulaires de ces droites étant légèrement différents, elles se recoupent pour une valeur de la longueur palléale égale à 90 mm.

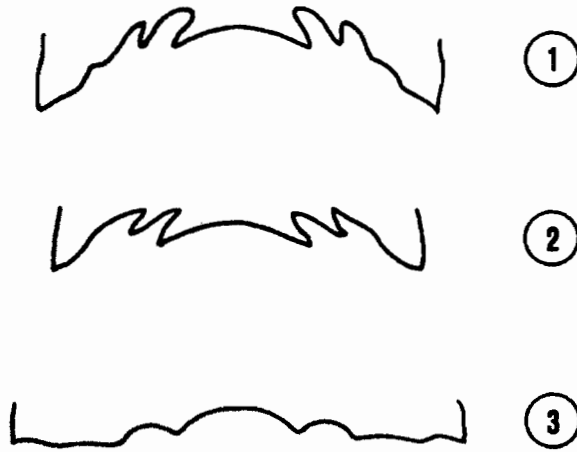
Or, le début de la différenciation sexuelle se discerne facilement sur les glandes génitales vers 110 mm (à cette taille, les mâles présentent sur la droite de la masse viscérale un « paquet » d'organes génitaux en cours de développement; les femelles montrent, à une taille légèrement plus élevée, de petites glandes nidamentaires transparentes).

Comme il a été signalé par ailleurs (RANCUREL, 1971, chez *Mastigo-teuthis grimaldi*, et chez *Nautilus macromphalus*, sous presse), la croissance

---

Fig. 5. — Graphes donnant la relation de la longueur du capuchon du bec supérieur par rapport à la longueur palléale dorsale, pour les mâles et les femelles de *Symplectoteuthis oualaniensis*. Les indications st. I; II; III; IV; correspondent aux 4 stades de brunissement du bec donnés dans la clef. Les deux droites inférieures à LM 90 sont hypothétiques et sont vraisemblablement confondues.





SECTIONS TRANSVERSALES DU PALAIS DE :

- (1) SYMPLECTOTEUTHIS OUALANIENSIS
- (2) OMMASTREPHES PTEROPUS
- (3) OMMASTREPHES CAROLI

Fig. 6

allométrique chez les Céphalopodes paraît varier au début de la maturation sexuelle, chez les deux sexes. L'absence d'individus de longueur palléale inférieure à 90 mm ne permet pas de dire si, au-dessous de cette taille, les deux droites sont confondues en une seule représentant les immatures des deux sexes.

Au delà de cette taille, les deux droites divergent, l'accroissement en taille des femelles étant plus rapide que celui des mâles <sup>(3)</sup>. La figure 5 permet de déduire la taille des Calmars; de la longueur de leur capuchon, et de leur sexe, déterminé par le brunissement proportionnel des becs (*cf.* plus bas).

<sup>(3)</sup> Un échantillonnage plus abondant en mâles adultes ferait peut-être ressortir une identité d'allométrie avec celle des femelles.

### 3.2. BRUNISSEMENT DES PARTIES CONSTITUANTES DU BEC

Au cours de la croissance, les diverses lames qui constituent les mandibules des Céphalopodes se chargent peu à peu de pigment brun (tannage) en acquérant une consistance de plus en plus dure.

Divers auteurs (CLARKE, 1962 *a*, MANGOLD et FIORNI, 1966) ont montré que les variations de densité de brunissement du bec chez certaines espèces de Céphalopodes pouvaient être rattachées à l'avancement de la maturité sexuelle ou tout au moins à l'âge des individus, donc à la taille. MANGOLD et FIORNI (1966) décrivent cinq stades de brunissement des mandibules de *Todarodes sagittatus* en relation avec la taille et la maturité sexuelle.

L'étude systématique des becs de *Symplectoteuthis oualaniensis* prélevés sur des individus préalablement « sexés » a permis de lier la taille et la coloration de ces becs à l'état physiologique des Calmars. Elle a porté principalement sur l'examen de la mandibule supérieure.

#### 3.2.1. Bec supérieur des mâles

La taille de ces becs est comprise entre 8 et 12,8 mm de longueur de capuchon. On rencontre, dans l'intervalle de ces chiffres, deux catégories de becs présentant des parois latérales diversement colorées :

1. Becs ayant les parois latérales transparentes, avec seulement une courte bande sur la crête au niveau du capuchon.

2. Becs ayant les parois latérales plus ou moins brunes, mais la marge postérieure reste transparente. Cette marge est plus ou moins large selon la taille du bec.

Le brunissement des parois latérales se fait très rapidement : un écart de 25 mm de longueur palléale étant nécessaire pour brunir une paroi latérale transparente (130 à 155 mm). On doit noter encore que ce passage se produit au début de la maturité sexuelle et lors de l'apparition des spermatophores.

#### 3.2.2. Bec supérieur des femelles

La taille de ces becs est comprise entre 9 et 20 mm de longueur de capuchon. Quatre types de coloration peuvent être rencontrés :

1. Becs de 9 à 12 mm (LM 150 mm) : parois latérales transparentes. Bande dorsale brune sous capuchon.

TABLEAU-CLEF

Stades I-IV

	Stade	Sexe	LM (mm)
<p>STADE I                      STADE II                      STADE III                      STADE IV</p>			
<p><i>Longueur du capuchon inférieure à 10 mm :</i>            + entièrement transparent, juvénile, <i>Symplectoteuthis oualaniensis</i>;            + avec des marques brunes, <i>S. oualaniensis</i>, non OL <sup>(1)</sup>.</p>			
<p><i>Longueur du capuchon de 10 à 12 mm :</i>            + parois latérales entièrement foncées..... IV                      ♀                      &lt; 145            + parois latérales avec des marques brunes :              ○ bande brune sur la crête..... I                      ♀                      &lt; 140              ○ bande brune sur tout le travers de la paroi latérale, sauf une échancrure antérieure.... III                      ♂                      &lt; 150</p>			
<p><i>Longueur du cauchon de 12 à 14 mm :</i>            + parois latérales portant 2 taches séparées ou à peine réunies à leur base..... II                      ♀                      140/160            + parois latérales avec une grande tache brune occupant toute la paroi, sauf une légère bordure inférieure..... IV                      ♂                      150/170</p>			
<p><i>Longueur du capuchon supérieure à 15 mm :</i>            + parois latérales portant une bande brune de plus en plus large et de moins en moins tachée à la base..... III-IV                      ♀                      175</p>			
<p><sup>(1)</sup> Dans notre matériel étudié, un seul exemplaire de <i>S. oualaniensis</i> sans organe lumineux dorsal (<i>non O.L.</i>) a été examiné. Il n'est donc pas possible d'inclure les différences de sexe et d'âge de cette « espèce » signalée par les auteurs mais non décrite, dans la clef proposée. La taille, beaucoup plus faible, de cette espèce rend aisée la distinction des bcs d'avec ceux de <i>S. oualaniensis</i> possédant un champ lumineux dorsal.</p>			

2. Bcs de 12 à 14 mm (LM 150 à 170 mm) : la bande dorsale s'élargit, déborde de l'aplomb du capuchon. Une bande antérieure prend naissance au niveau de l'aile et descend vers la base de la paroi latérale.



3. Becs de 14 à 20 mm (LM 170 à 240 mm) : les deux bandes précédentes se joignent en envahissant la paroi latérale. Une échancrure persiste toutefois entre la bande antérieure et la tache dorsale.

4. Becs supérieurs à 20 mm (LM au-delà de 240 mm). Toute la paroi latérale est brune. L'échancrure antérieure a disparu. Il ne subsiste qu'un mince liséré transparent à l'extrémité inférieure de la paroi latérale.

Le brunissement de la paroi latérale est moins rapide que chez les mâles. Ce brunissement, qui prend place principalement au cours du stade 2, correspond à la maturation des ovaires. En outre, la croissance du bec est plus rapide et se poursuit plus longtemps, parallèlement à celle de l'animal qui peut atteindre des tailles voisines de 340 mm de longueur palléale (bec de 29,7 mm de longueur de capuchon mesurée sur des échantillons étrangers au lot actuellement étudié).

Il est donc possible de différencier les becs des mâles et des femelles au delà de leur maturité. En deçà, jusqu'à une longueur palléale de 130 mm (C = 10 mm), il n'est pas possible de différencier les sexes : les becs étant tous réunis au stade 1.

Au delà, les mâles passent presque immédiatement au stade 3, tandis que les femelles transitent par un stade 2, intermédiaire. La différenciation des sexes devient alors possible en considérant le brunissement des parois latérales en fonction de la taille du bec. Tout bec de stade 3 ayant une longueur de capuchon inférieure à 13 mm appartient à un mâle. A cette taille, les becs des femelles présentent tout au plus les bandes du stade 2. Tout bec de stade 3 à capuchon supérieur à 14 mm appartient à une femelle, les mâles de cette taille étant au stade 4. Nous n'avons pas rencontré de mâle ayant une longueur palléale supérieure à 170 mm qui semble être voisine de la taille limite pour ce sexe, les femelles continuant à croître bien au delà de cette longueur.

#### LITTÉRATURE CONSULTÉE

- CLARKE (M. R.), 1962 a. — The identification of cephalopod « Beaks » and the relationships between beak size and total body weight. *Bull. British Museum (N.H.) Zoology*, **8** (10), pl. 13-22, 421-480.
- , 1962 b. — Significance of Cephalopod beaks. *Nature*, **193** (4815), 560-561.
- , 1966. — A review of the systematics and ecology of oceanic squids. *Adv. mar. Biol.*, **4**, 91-300.

- GASKIN (D. E.) et CAWTHORN (M. W.), 1967. — Squid Mandibles from the stomachs of sperm whales (*Physeter catodon* L.) captured in the Cook Strait region of New-Zealand. *New-Zealand. mar. Fresh. Res.*, **1** (1), 59-70.
- IVERSON (I. L. K.) et PINKAS (L.), 1971. — A pictural guide to beaks of certain eastern Pacific cephalopods. In : Food habits of albacore, bluefin tuna and Bonito in Californian waters. *Fish. Bull.*, **152**, 83-105.
- MANGOLD (K.) et FIORONI (P.), 1966. — Morphologie et Biométrie des mandibules de quelques céphalopodes méditerranéens. *Vie et Milieu*, **17** (3 A), 1139-1196.
- RANCUREL (P.), 1971. — *Mastigoteuthis grimaldi* (Joubin, 1895). Chiroteuthidae peu connu de l'Atlantique Tropical (Cephalopoda, Oegopsida). *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.*, **9** (2), 125-145.
- ROPER (C. F. E.), 1963. — Observations on bioluminescence in *Ommastrephes pteropus* (Steenstrup, 1855), with notes on its occurrence in the family Ommastrephidae (Mollusca-Cephalopoda). *Bull. Mar. Sc.*, **13** (2), 343-353.
- WOLFF (G. A.) et WORMUTH (J. H.), 1979. — Biometric separation of the beaks of two morphologically similar species of the squid family Ommastrephidae. *Bull. Mar. Sc.*, **29** (4), 587-592.
- WORMUTH (J. H.), 1976. — The biogeography and numerical taxonomy of the oegopsid squid family Ommastrephidae in the Pacific Ocean. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. California-San Diego*, **23**, 1-90.



Évolution récente des captures et des coûts  
de la pêche aux bonites (*Katsuwonus pelamis*)  
dans le Pacifique Sud-Ouest

par William BOUR,  
*océanographe à l'ORSTOM (Nouméa)*

Le colloque de la mer, tenu à Nouméa en septembre 1979, a mis en relief les possibilités offertes aux armateurs français en matière de pêche aux bonites dans le Pacifique. Une étude très approfondie sur ce sujet sera entreprise par l'ORSTOM au cours de l'année 1980, mais, dès à présent, plusieurs publications récentes permettent de dégager les traits essentiels des dernières années concernant l'évolution des flottilles, l'aire géographique prospectée ainsi que certaines données économiques qui évoluent actuellement sur un rythme accéléré.

## Les canneurs

### Canneurs japonais basés dans certains pays du Pacifique Sud-Ouest

Des armateurs japonais ont créé avec les Etats hôtes des sociétés à risques partagés (joint-ventures), essentiellement en Nouvelle-Guinée, aux îles Salomon et à Fidji ; d'autres sont en projet à Tonga, Kiribatis (ex-îles Gilbert), en Australie et dans les T.T.P.I. (Trust Territory of the Pacific Islands).

Les canneurs utilisés par ces sociétés sont de la classe 50-100 tjb. Au cours de l'année 1978, une saison de pêche exceptionnelle en Nouvelle-Guinée a permis à ces flottilles de doubler leurs captures par rapport à l'année précédente ; en effet, de 24 000 t en 1977, les prises ont atteint 47 700 t, dépassant la précédente année record : 41 800 t en 1974. Les canneurs japonais basés localement ont débarqué au total près de 68 000 t de bonites en 1978.

### Canneurs japonais à grand rayon d'action

L'augmentation très rapide de l'effort de pêche consacré aux bonites depuis 1970 est principalement due aux activités des canneurs à grand rayon d'action venant du Japon. Ils n'ont cessé d'augmenter en nombre depuis 1970 (tableau 1) et de pêcher dans des eaux de plus en plus méridionales (cartes 1 et 2).

Tableau 1. — Evolution du nombre de canneurs japonais par taille depuis 1970

Année	20 à 50 tjb	100 à 200 tjb	200 tjb
1970 .....	220	140	61
1971 .....	165	129	83
1972 .....	131	116	145
1973 .....	93	80	199
1974 .....	136	84	227
1975 .....	95	39	279
1976 .....	51	17	267

Jusqu'en 1976, les canneurs à grand rayon d'action japonais étaient libres de prospecter dans tout le Pacifique Sud-Ouest sans autres limites que les contraintes techniques et les eaux territoriales. La création des zones économiques exclusives (Z.E.E.) à 200 milles des côtes a réduit à presque rien la superficie des eaux internationales de la zone comme le montre l'enveloppe globale des Z.E.E. de la région (carte 3). Cette situation a obligé les grands canneurs à redistribuer l'effort de pêche et, bien sûr, à négocier des accords de pêche bilatéraux avec les Etats concernés. D'après Kearney (1979), l'estimation du poids des bonites pêchées dans la Z.E.E. de Nouvelle-Guinée est passé de 56 000 t en 1974 à 10 500 t en 1976, année de création de la zone économique. L'effort de pêche s'est déplacé vers l'Est, dans la région des Kiribatis.

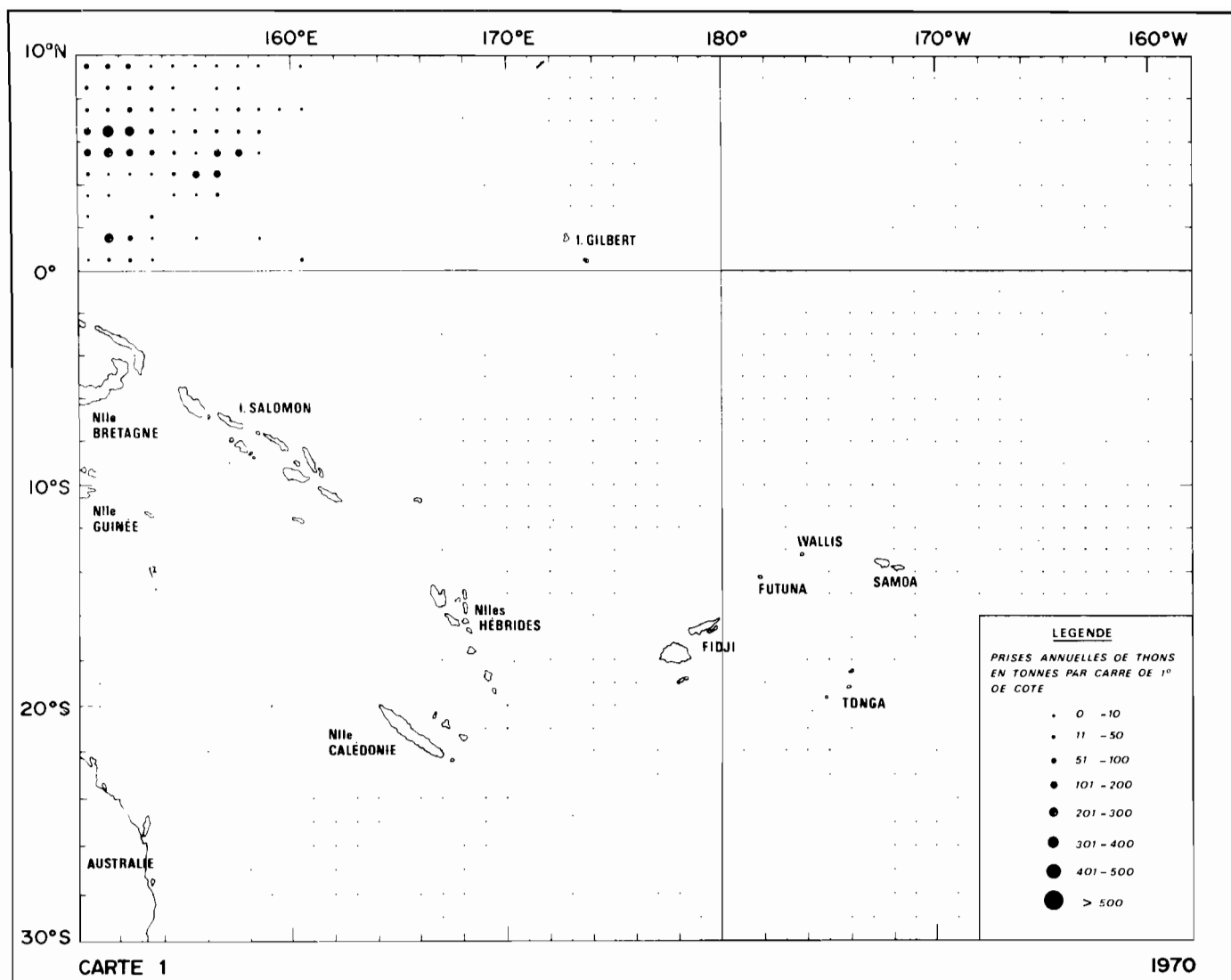
En Nouvelle-Calédonie, la venue de ces grands canneurs était très épisodique ; l'estimation de leurs captures dans la Z.E.E. était de 380 t en 1975 et seulement 58 t en 1976. A partir de 1977, la zone économique, bien que créée, n'était pas encore activée, ce qui a permis à plusieurs grands canneurs japonais de venir pêcher à proximité des récifs nord de la Nouvelle-Calédonie (carte 4).

De mi-février à mi-mars 1977, 1 278 t de bonites ont été pêchées dans la zone économique calédonienne (statistiques officielles de l'Agence des pêches japonaise). Le rendement moyen obtenu au cours de ce mois de pêche a été de 7,9 t par jour de pêche.

Comme il fut noté plus haut, l'année 1978 a été particulièrement favorable à la pêche des bonites ; c'est une année record pour les pêcheurs du Pacifique Ouest. La conséquence logique a été une chute spectaculaire du cours de la bonite au Japon, dès le mois d'avril 1978. De 200 yens le kilo en janvier 1978, le prix s'est effondré à 142 yens en mai 1978, la monnaie japonaise ayant par ailleurs subi une dévaluation à cette époque. La Fédération des coopératives de pêche thonière japonaise dut créer à cette occasion un organe de contrôle de la production qui obligea les grands canneurs à stopper toute activité pendant 30 jours au cours de la période 15 septembre-28 février 1979.

### Canneurs coréens

La Corée du Sud avait programmé la construction de grands canneurs dès 1972 ; huit unités furent en opération en 1975-76 mais sans grand succès. Le plan est actuellement abandonné : les grands canneurs coréens sont partis en Atlantique, mais de nombreux petits canneurs travaillent sous contrat pour les sociétés implantées en Nouvelle-Guinée avec, semble-t-il, d'excellents résultats.



## Les senneurs

### Senneurs japonais

Après les essais très positifs réalisés par le JAMARC en 1974-75 (Bour et Josse, 1978), une flottille de senneurs japonais a vu le jour et se compose actuellement de 11 unités. Leur zone d'action s'étendait, ces dernières années, au nord de la Nouvelle-Guinée. Leurs captures, de l'ordre de 23 000 t de bonites en 1976, ont atteint 25 000 t en 1977 et dépassé 28 000 t en 1978. Ce sont des résultats encourageants si l'on considère que les senneurs japonais appartiennent à la classe des 500 tjb.

### Senneurs américains

Les difficultés rencontrées par les senneurs américains dans le Pacifique Est les ont conduits à prospector les eaux tropicales du Pacifique central et Ouest.

Les problèmes liés à la thermocline profonde (Le Guen et al., 1977) ont été résolus par l'augmentation de la taille des sennes ; elles peuvent atteindre actuellement 260 m de chutes. Au cours des dernières campagnes, les zones d'action principales des senneurs américains ont été : le Sud des Trust Territories, de Palau aux Kiribatis, et la zone économique de Nouvelle-Zélande.

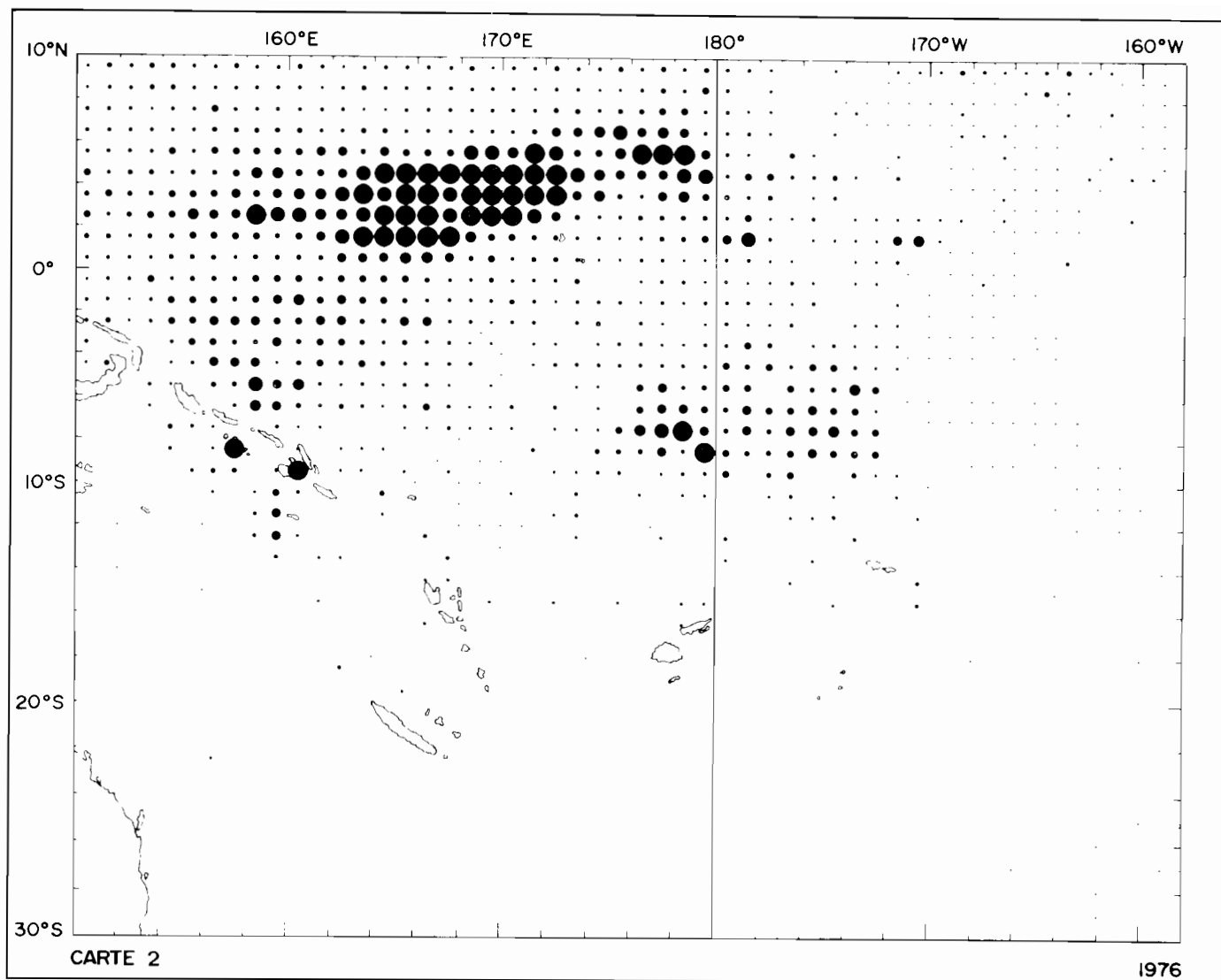
### Activité des senneurs américains en Nouvelle-Zélande

C'est à la suite d'un accord passé en 1974 entre le gouvernement néo-zélandais et la Star-Kist Foods Inc. que des senneurs américains viennent chaque année en Nouvelle-Zélande pendant l'été austral. La saison commence en novembre, mais 80 à 90 % des captures sont réalisées entre janvier et mars. Le tableau 2 résume les opérations depuis 1976.

**Tableau 2. — Nombre de senneurs américains opérant en Nouvelle-Zélande et résultats obtenus pour les années 1976-77-78**

(Prises en tonnes)

	1976	1977	1978
Nombre de senneurs .....	5	11	10
Captures totales .....	4 715	7 541	9 526
Prise par jour de pêche ou de recherche .....	21	16	24
Prise par coup de senne .....	15	12	13
Prise par coup de senne positif ..	26	24	32



### Saison 1979

La saison de pêche en Nouvelle-Zélande (novembre 1978-mars 1979) a été analysée très en détail par Habib (1980). Les traits principaux sont les suivants :

#### Abondance et localisation géographique des bonites

Environ 1 100 mattes ont été observées au cours de la saison (observations de surface et en survol aérien). La taille moyenne de ces mattes étaient de 30 t. Il faut souligner que la proportion de poissons pêchés par rapport aux quantités observées n'a pas dépassé 25 %, ce qui, théoriquement, a évité toute ponction excessive du stock. L'aire de pêche intéresse le nord de la Nouvelle-Zélande et ne dépasse guère 38° S.

En début de saison (novembre, décembre), les mattes sont surtout présentes à l'extérieur des eaux territoriales (12 milles de la côte), puis, en mi-saison, c'est dans les eaux territoriales que les bonites sont abondantes (environ 60 % des mattes observées). Vers mars, avril, l'abondance diminue rapidement partout ; Habib estime que la migration vers le Nord s'effectue en profondeur.

#### L'heure de pêche, la lunaison et la température de l'eau

Sur les 8 975 t de bonites débarquées en 1979, la moitié a été pêchée le matin (6 h à 11 h), un tiers l'après-midi et

le reste le soir. Les coups de senne positifs ont été plus nombreux le matin.

Les trois quarts des captures ont eu lieu pendant la nouvelle lune et les premiers quartiers, avec des rendements particulièrement élevés.

Presque 100 % des bonites capturées se trouvaient dans des eaux comprises entre 19° et 22,9° ; les Néo-Zélandais désignent d'ailleurs ce type d'eau « skipjack water ».

### Le coût de la pêche aux bonites

Dans un rapport d'expertise réalisé en 1979 pour le compte du S.P.E.C. (South Pacific Bureau for Economic Cooperation) Kearney donne des informations intéressantes relatives aux coûts de fonctionnement du grand canneur et du senneur.

#### Canneurs japonais

Le tableau 3 résume les données économiques des grands canneurs (300 à 500 tjb), susceptibles de venir pêcher en Nouvelle-Zélande ou en Polynésie.

**Tableau 3. — Evolution de la situation économique d'un canneur japonais à grand rayon d'action**

Données économiques	1972	1974	1976
Nombre moyen d'hommes d'équipage .....	37	32	30
Coûts totaux * .....	495	585	754
Bénéfices * .....	+ 21	— 1	+ 43
<b>Postes principaux (en % des coûts totaux) :</b>			
— emploi .....	45	38	40
— carburant .....	8	18	21
— achat appât .....	8	8	8

\* (en \$ US × 1 000).

**Tableau 4. — Evolution récente des coûts relatifs à un senneur de 1 100 tjb**

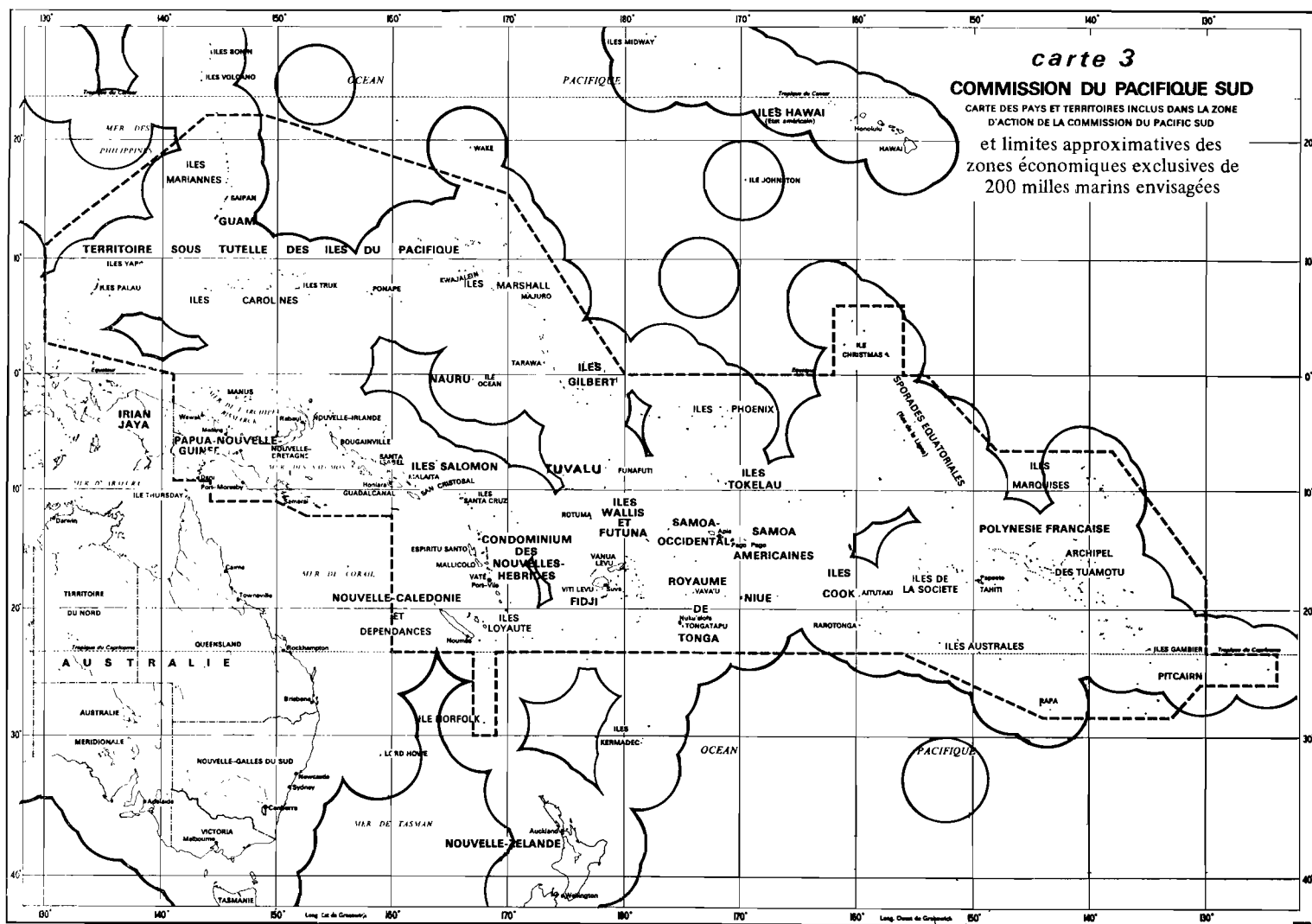
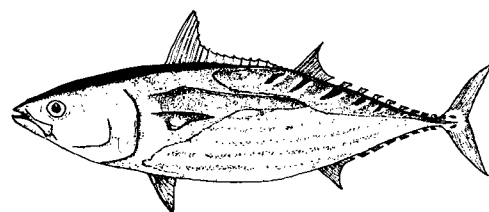
Données économiques	1976	1977	1978
Coûts totaux * .....	2 100	1 700	1 980
Bénéfices * .....	+ 100	0	+ 220
<b>Postes principaux (en % des coûts totaux) :</b>			
— emploi .....	43	28	32
— carburant .....	13	9	8

\* (en \$ US × 1 000).

L'emploi et le carburant, deux postes très importants du coût de fonctionnement, varient avec la taille du senneur ; le tableau 5 donne une idée de leurs fluctuations.

**Senneurs américains**

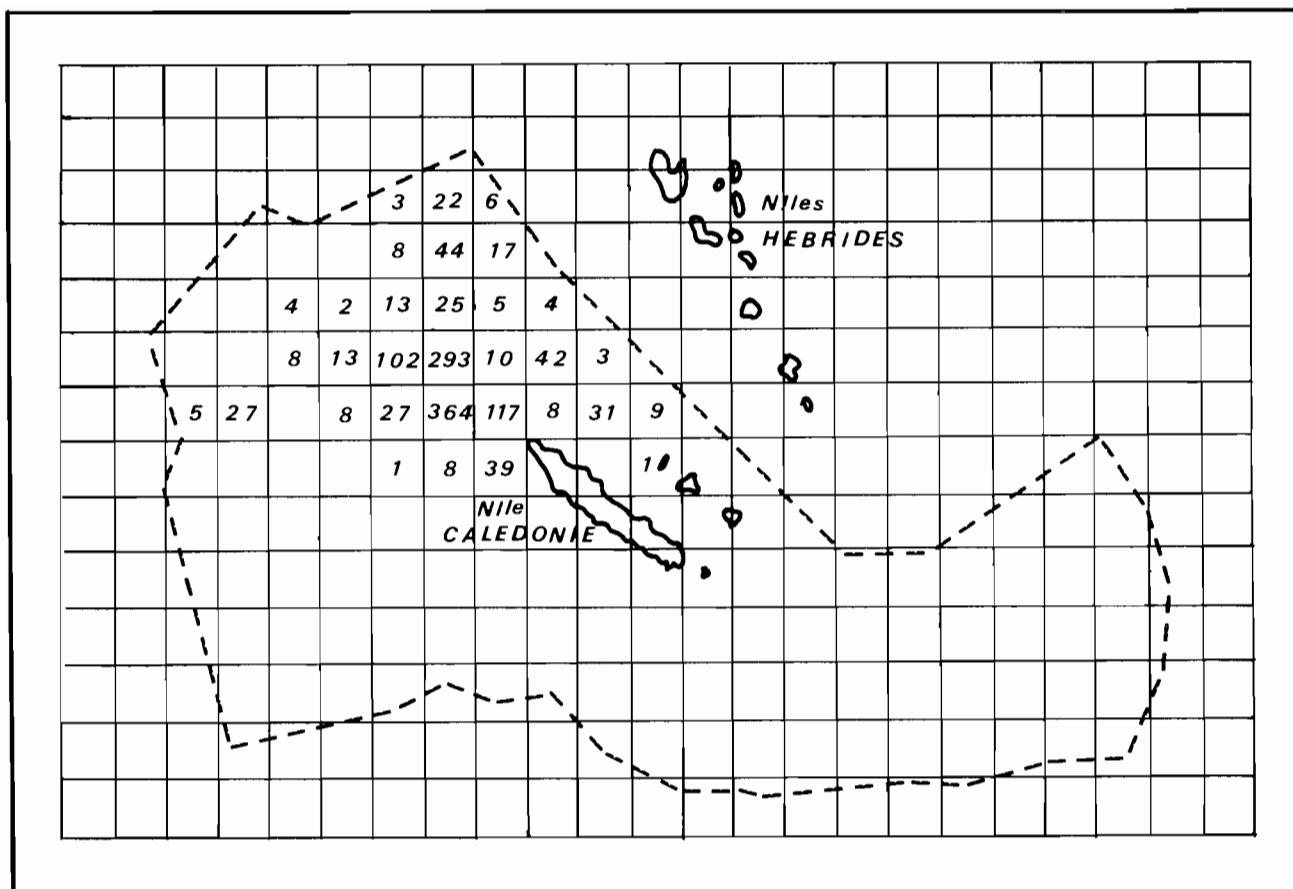
Des données précises concernant les coûts d'exploitation sont naturellement difficiles à obtenir des armateurs ; les chiffres du tableau 4 sont donc présentés avec toutes les réserves d'usage quant à l'exactitude des valeurs absolues.



Estimated boundaries by courtesy of ORSTOM, Noumea

Estimation des limites due à l'aimable concours de l'ORSTOM, Nouméa





Carte 4 : poids de bonites (exprimé en tonnes) capturées par les canneurs japonais pour chaque degré canné de la Z.E.E. de Nouvelle-Calédonie, en février-mars 1977

Tableau 5. — Variations des coûts entraînés par l'emploi et le carburant selon la taille du senneur

Tonnage (tjb)	* Emploi (%)	* Carburant (%)	** Coût de l'emploi par tonne de thon	** Coût du fuel par tonne de thon
500	32	9	229	64
1 100	32	12	178	66
2 100	34	13	153	59

\* (en % du coût total).

\*\* (en \$ US - Données de 1974).

## Conclusion

Les bonites représentent pour les nombreux Etats du Pacifique Sud-Ouest une ressource pleine d'avenir.

L'espèce étant migratrice, une concertation très étroite devra réunir les pays situés dans la région et les pays pêcheurs afin d'obtenir des rendements soutenus sans porter atteinte

aux stocks. La généralisation des zones économiques, l'adaptation des engins de pêche à la région et l'utilisation de nouveaux systèmes tels les radeaux flottants artificiels sont autant de facteurs qui modifieront profondément la répartition de l'effort de pêche et la composition des flottilles.

## Bibliographie

- ANONYME, 1979. — Annual report of effort and catch statistics by area. Japanese Skipjack Baitboat Fishery 1977. Research and Development Division, Fisheries Agency of Japan. 333 p.
- BOUR (W.), JOSSE (E.), 1978. — Développement des pêcheries thonières dans le Pacifique Sud. *La Pêche maritime*, n° 1206, pp 518-522.
- HABIB (G.), CLEMENT (I.T.) et FISHER (K.A.), 1980. — The 1978-79 Purse-seine skipjack Fishery in New Zealand Waters. Fisheries Research Division, Ministry of Agriculture & Fisheries, Wellington, Nouvelle-Zélande (sous presse).
- KEARNEY (R.), 1979. — An overview of recent changes in the Fisheries for highly migratory species in the Western Pacific Ocean and projections for future developments. Rapport d'expertise SPEC (79) 17.
- LE GUEN (J.C.), DONGUY (J.R.) et HÉNIN (C.), 1977. — Perspectives thonières dans le Pacifique Sud. *La Pêche maritime*, n° 1186, pp 20-28.



# SEA SURFACE SALINITY AND TEMPERATURE ANOMALIES BETWEEN NEW CALEDONIA AND JAPAN (1969-1978)

C.Hénin and J.R. Donguy

ORSTOM Centre, B.P. A5, Noumea, New Caledonia

## ABSTRACT

Over the eight years of sea-surface sampling, temperature and salinity observations from merchant ships between Japan and New Caledonia have been analysed. These two parameters show a well marked annual cycle at each latitude along the route. However long term changes occur such as the anomalous oceanographic characteristics in 1972-1973 and in 1976-1977-1978 which may be related to the El Nino phenomenon off South-America and the heat content variation of the upper layer in the Western Equatorial and Central South Pacific.

Since August 1969 the ORSTOM Centre of Noumea in New Caledonia has been developing a surface sampling program in the Western Pacific Ocean with the assistance of ships of opportunity.

Several Japanese nickel ore-carriers delivering from New Caledonia to Japan have kindly made regular surface temperature and meteorological measurements and sea-surface sampling every 60 nautical miles. Between 1969 and 1972 sampling was conducted between 20° S and 10° N ; since 1972 it was conducted between 20° S and the coast of Japan. The vessels have a shipping route from Noumea in New Caledonia to Machinoe in north of Japan which crosses the Equator at almost 155° E. The number of shipping trips is quite high. The minimum number (42) occurred in 1972 and the maximum (78) in 1974. The average number of shipping trips per month is around 4 to 5. To our knowledge no surface sampling program on the open sea has such a high measure rating.

Samples are analysed at the laboratory at the ORSTOM Center of Nouméa every 40 days when the vessel docks in New Caledonia. The reliable accuracy is estimated to be 0.1 per mil in salinity. The temperature accuracy is not so good but the great number of shipping trips has made it possible to reduce vessels differences by averaging the temperature by one degree of latitude per month. We then averaged salinity data in the same way. This method of reducing the data smooths out the small scale variability in space and time but we may then obtain a sound evaluation of the variability in space around 2 to 3 degrees of latitude and in time around 2 to 3 months.

On a yearly basis, the temperature and the salinity have been averaged by one degree of latitude per month. Initial results of data show clearly marked seasonal variability both in salinity and temperature.

On the distance-time diagram (figure 1) concerning the temperature it may appear that north of the Equator the sea-surface is coldest in February-March and warmest in July-August. South of the Equator the sea-surface is coldest in August-September and warmest in March. The highest values of S.S.T. are located south of the Equator around 2 to 8°S but the 29° C isotherm reaches 20° N in the north hemisphere and only 16° S in the southern hemisphere. This shows that the meridional temperature gradient between the Equator and the tropics is stronger in the southern hemisphere than in the northern along this shipping route that is around 155° E.

On the time space diagram the monthly salinity averaged on a yearly basis over the 8 years of sampling (figure 2), from north to south we may see different water masses.

On the Kuroshio current, the Kuroshio countercurrent and the subtropical countercurrent zone appears a low salinity water with a salinity minimum of 34.4 per mil in July-August north of 30° N and a high salinity water with a maximum in March-April of more than 35.0 per mil around 20-28° N (Donguy - Hénin, 1977).

The north equatorial current is located in a salinity meridional gradient between the high salinity water north of the north equatorial ridge and the north equatorial countercurrent. The

north equatorial countercurrent is well marked, carrying eastward desalted water all along the Pacific Ocean between 6°N and 10°N. The salinity minimum (less than 34.0 per mil) occurs around August-September.

Southern, in the equatorial and south tropical western Pacific the maximum and minimum level of sea surface salinity may be related with the direction of the zonal oceanic currents. In fact, in the central south Pacific near the tropic, high salinity water is formed due to the strong evaporation. On the other hand the western part of the equatorial Pacific Ocean is strongly influenced by the monsoon and is an area where low salinity occurs due to the rain. Therefore along our shipping route in the equatorial and south western Pacific Ocean, the westward currents will carry high salinity water whereas the eastward currents will carry low salinity water.

Close to the equator in August-September there is a saltier water due to the upwelling forcing related to the strong south east trade-winds which drive at the surface the south tropical high salinity water mass formed near Tahiti in French Polynesia and which has sunk under the low salinity water of the western Pacific (Donguy - Hénin, 1974).

Around 8-10° S there is a low salinity water which is well developed in March-April that is two or three months following the north-west monsoon onset.

This is the south equatorial countercurrent which carries low salinity water supplied on the one hand by the coastal New-Guinean current along the north coast of New-Guinea and on the other hand formed on the spot along the Salomon archipelago (Donguy - Hénin, 1975).

To the south around 15° S a meridional salinity gradient is clearly marked between the south equatorial countercurrent and the salty waters of the Central Coral Sea.

Therefore in the western equatorial and south tropical Pacific Ocean, surface salinity is a good parameter for describing the watermasses carried by zonal currents.

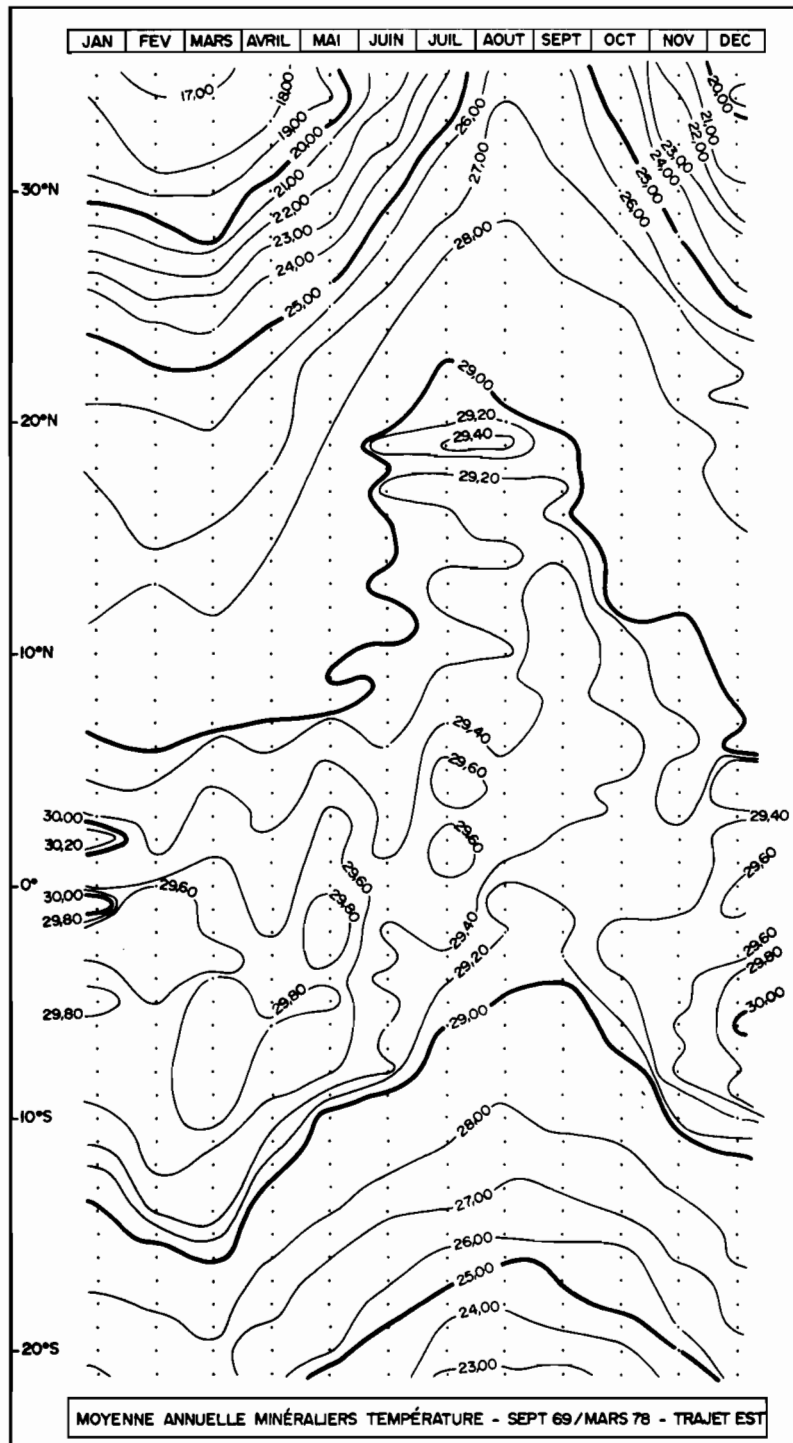


FIG. 1 : Mean sea-surface temperature, in degree Celcius, along the track between Japan and New Caledonia averaged between August 1969 and April 1978.

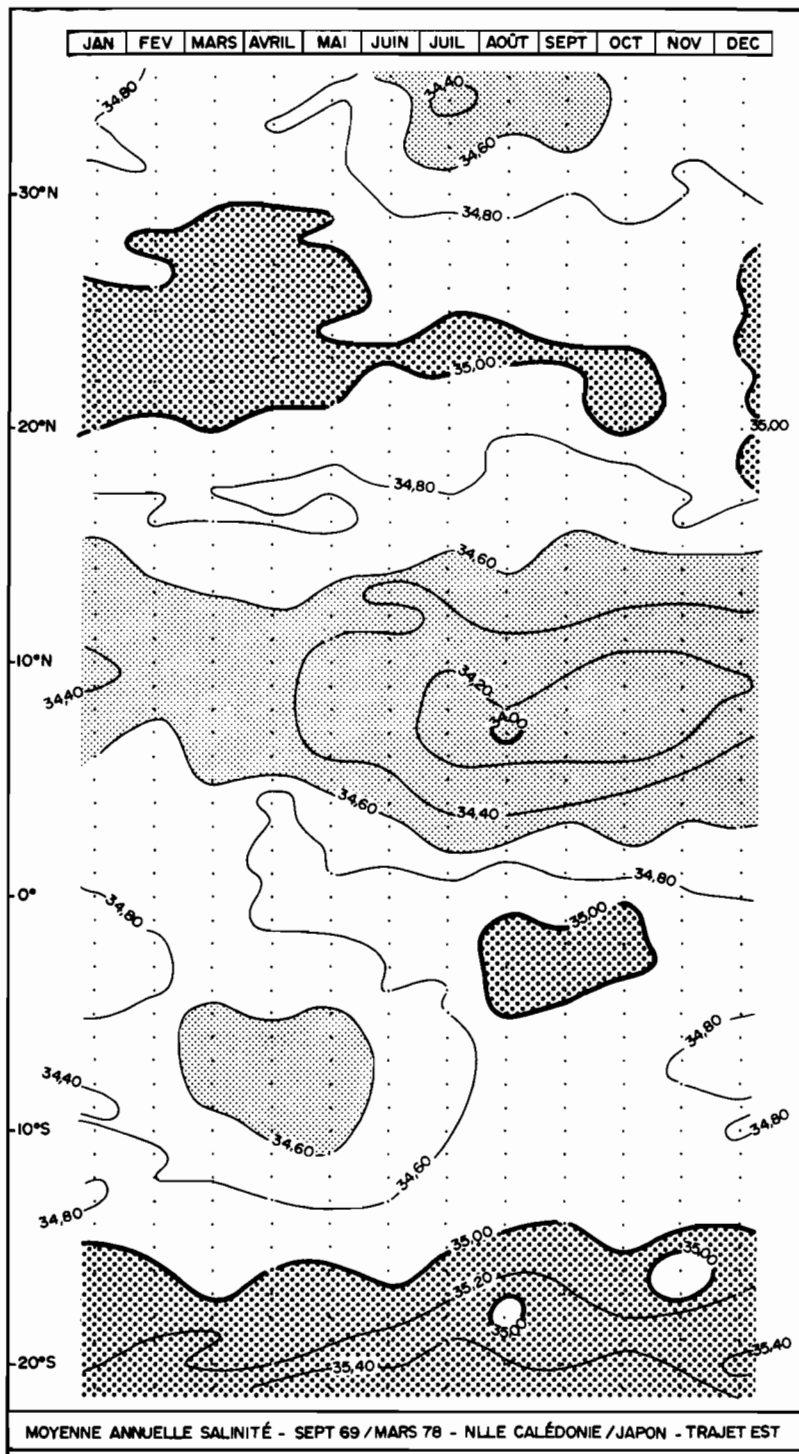


FIG. 2 : Mean sea-surface salinity, per mil, along the track between Japan and New Caledonia averaged between August 1969 and April 1978.

The temperature data between August 1969 and April 1978 are drawn (figure 3). Seasonal variations are very clearly marked but anomalous changes have been observed such as the low temperature conditions over the equatorial zone in August-September 1972, in 1975-1976 and 1977 and the high temperature conditions in late 1969, 1970-1971, 1973-1974 and early 1978. Recent data show normal surface temperature conditions during late 1978.

Thus, it appears long term temperature variations which also comply with sea surface salinity variations.

On figure 4 showing the salinity data between August 1969 and April 1978 we recognize the different water masses described beforehand with their seasonal changes. However, there are also long term changes ; as in the equatorial zone in 1969, 1972-1973, 1976-1977 and early 1978 where the salinity is lower than usual. It may be the sign of weaker or a mythical equatorial upwelling. Similarly in the Coral Sea between  $10^{\circ}$  S and  $20^{\circ}$  S and in the north equatorial current zone around  $20-26^{\circ}$  N the water has a higher salinity level than usual.

Thus long term changes occur in the western Pacific Ocean both in salinity and temperature.

These drastic changes bear a likeness to an other well know event : the El Nino Current which sometimes flows southward along the Peru Chile coast and carries low salinity and high temperature water. It is well known that El Nino occured in 1972 (Wooster Guillen, 1974) and seems related with the low salinity and low temperature observed at  $155^{\circ}$  E along our shipping route early 1973. An other surface sampling program developed by ORSTOM Center of Nouméa begun in September 1974 between Tahiti and Panama crossing the equator near the Galapagos islands. We also observed a similar El Nino event near the equator along the shipping route, that is low salinity, and high temperature at the surface, early 1976 ; few month later at the opposite side of the Pacific Ocean an anomaly in salinity and in temperature occured in the equatorial zone of the western Pacific (Donguy - Hénin, 1978).



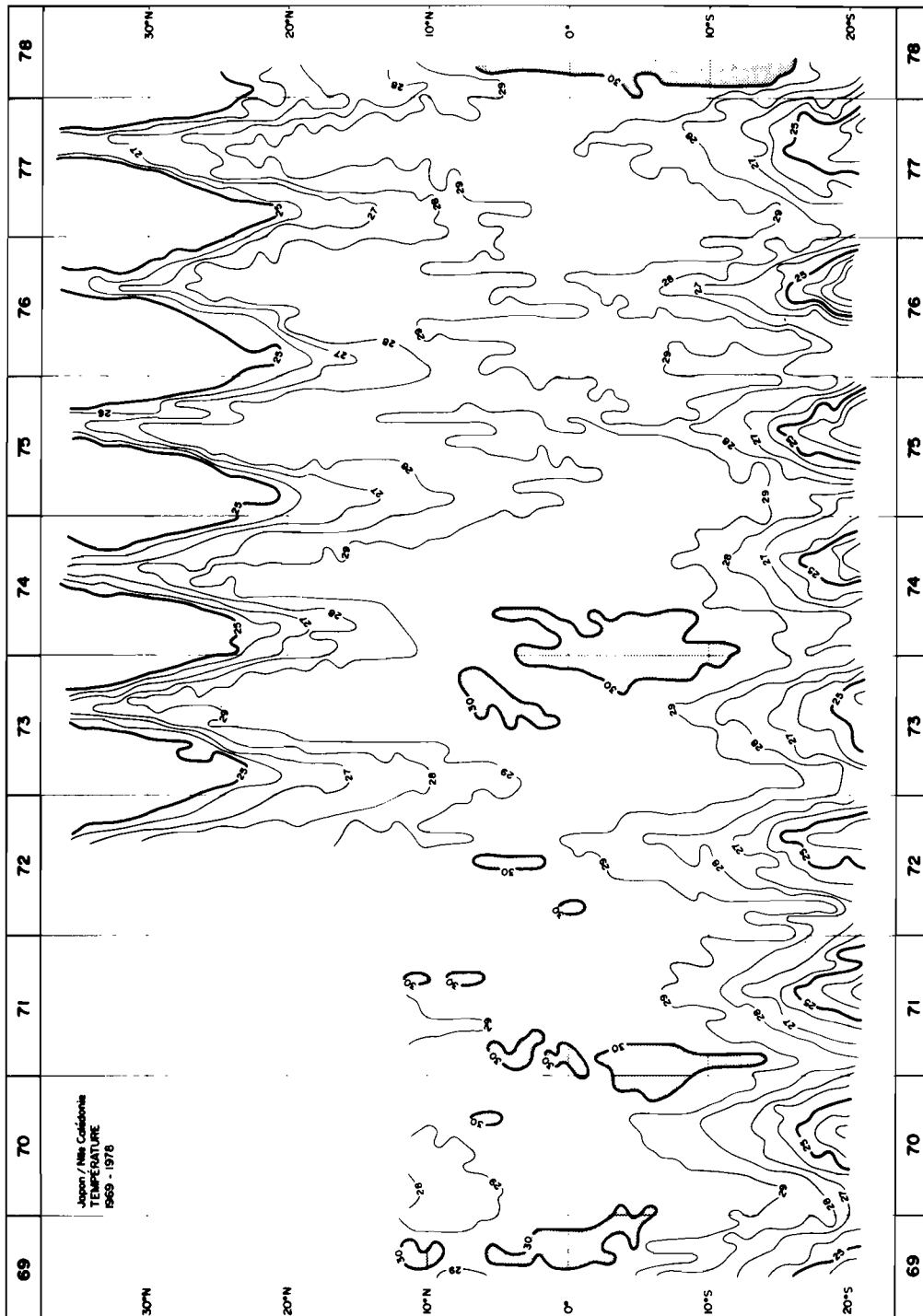


FIG. 3 : Sea-surface temperature in degree Celcius along the track between Japan and New Caledonia (August 1969 - April 1978).

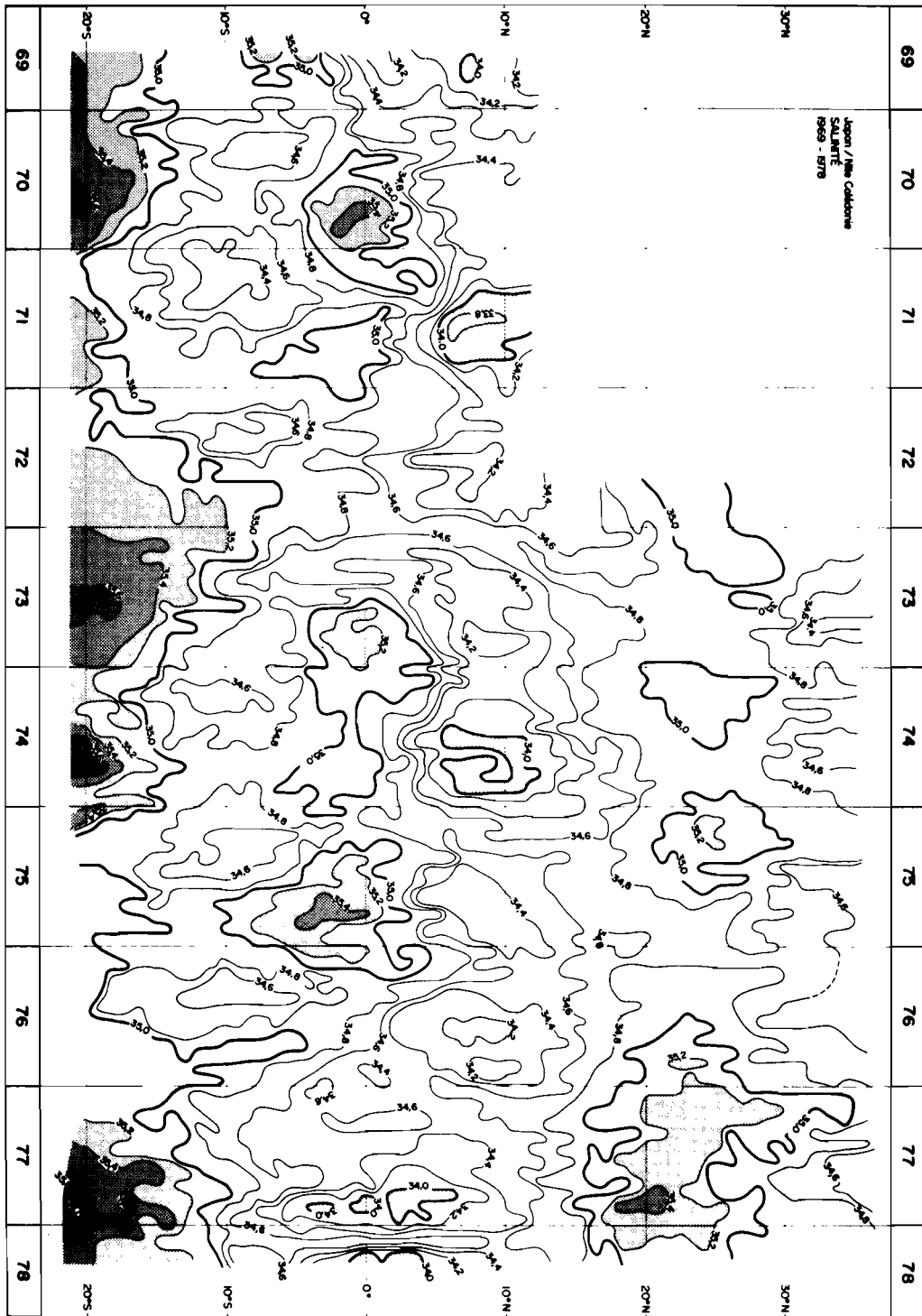


FIG. 4 : Sea-surface salinity, per mil, along the track between Japan and New Caledonia (August 1969 - April 1978).

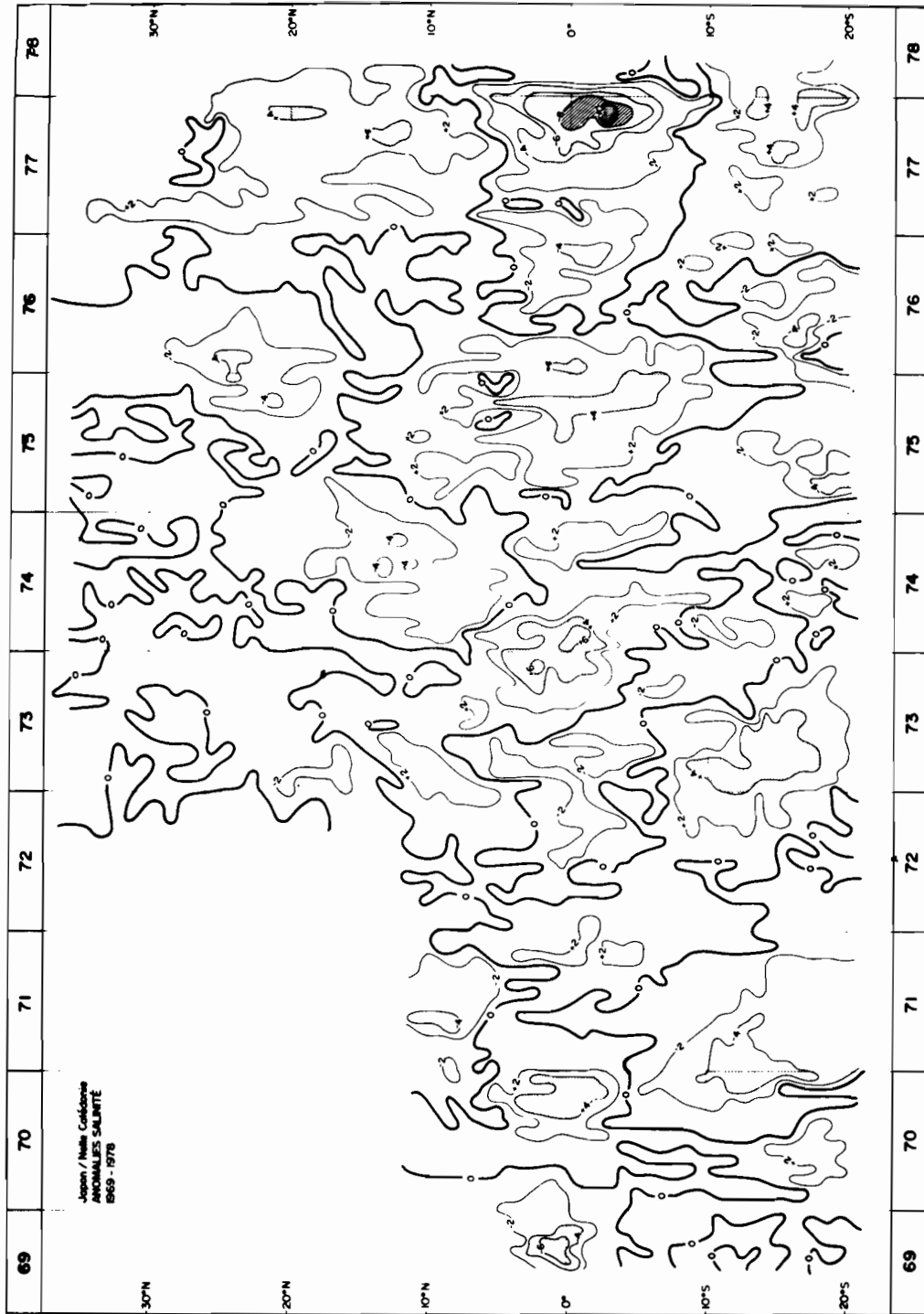


FIG. 5 : Sea-surface salinity anomaly, per mil, along the track between Japan and New Caledonia (August 1969 - April 1978).

Some studies show westward propagation of oceanic long waves along the equator which may explain this situation (Le Geckis, 1977). However in the eastern Pacific the short El Nino event in early 1976 stopped and in late 1976-1977 and 1978 the oceanic surface conditions seemed usual between Panama and Tahiti whereas in the western Pacific the low salinity persisted beyond two years (1976 - 1977 and early 1978). On late 1978 recent data show that sea surface conditions seemed to have become usual once more both in temperature and in salinity.

Further west the routine oceanographic meridional section along 137° E by the R.V. "RYOFU-MARU" in January and July each year indicates that similar sea surface temperature anomaly occurred at the same time that along our shipping route (Masuzawa and Nagasaka, 1975). However the sea surface salinity anomalies were of the opposite sign particularly in 1969 and 1973. Subsurface data by the R.V. "RYOFU-MARU" show that the subsurface salinity maxima is however less developed during these years which is close to our low surface salinity data observed near 155° E. It is difficult to explain the sea surface salinity differences between these two areas.

Atmospheric circulation may be responsible for these anomalies. The western most portion of the equatorial rainy region during the anomalous years may take place between 155° E and 137° E.

There is also a good correlation between the salinity conditions over the equator and the south tropical hemisphere well shown on figure 5. For 1969, 1972-1973, 1976, 1977 and early 1978 we have already noticed that, when lower salinity occurs on the equator, higher salinity occurs near the tropic. This may thus be interpreted by a balance between the equator and the the tropics.

Troughout 8 years of our sea-surface sampling program together with seasonal variations long term variability is clearly shown. Time and space teleconnections may be proposed between the equator and the tropics, between eastern and western Pacific (Bjerkness, 1969).

However we have to be extremely careful because these teleconnections are not always tested due to the use of several atmospheric and oceanic mechanism involved.

## REFERENCES

- Bjerknes, J., 1969 - Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.* 97, pp 163-172
- Donguy, J.R. and C. Hénin, 1974 - Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150-160° E. *La Mer (Bulletin de la Société Franco-japonaise d'océanographie)* 12, 2, pp 14-19
- Donguy, J.R. and C. Hénin, 1977 - Navifacial conditions in the North-West Pacific. *J. of Ocean. Soc. Japan.* 33, n° 4, pp 183-189
- Donguy, J.R. and C. Hénin, 1978 - Hydroclimatic anomalies in the South Pacific. *Oceanologica Acta*, Vol. 1, n° 1, pp 25-30
- Le Geckis, R., 1977 - Long waves in the Eastern Equatorial Pacific Ocean : a view from a geostationary satellite. *Science*, Vol. 197, pp 1179-1181
- Masuzawa, J. and Nagasaka, 1975 - The 137° E oceanographic section. *J. Mar. Res.*, 33, pp 109-116
- Wooster, W.S., Guillen, O., 1974 - Characteristics of El Nino in 1972. *J. Mar. Res.*, 32, 2, pp 387-404



# TIME AND SPACE VARIATIONS OF SURFACE CHLOROPHYLL IN THE PACIFIC OCEAN: FIRST RESULTS

by Y. Dandonneau

ORSTOM Centre, B.P. A5, Nouméa, New Caledonia

## ABSTRACT

Merchant vessels operating between Australia and California and between Australia and Panama conduct regular filtrations. Hand filters make it possible to measure chlorophyll concentrations. Data collected in 1978 have allowed a practical survey of monthly variations in chlorophyll concentrations along these two lines. The most pronounced characteristic is an enrichment centred on the Equator, which reaches its peak during a southern-hemisphere winter, until the month of October. To the north of this zone, that is from roughly  $10^{\circ}$  N, surface chlorophyll concentration is very low. On the other hand, to the south-west, concentrations are relatively high, particularly in the southern-hemisphere winter for 1978, and this appears to be due to the numerous island situated west of  $135^{\circ}$  W.

## RESUME

Des navires marchands navigant entre l'Australie et la Californie, et entre l'Australie et Panama, effectuent régulièrement des filtrations. Les filtres ramenés à terre permettent des mesures de chlorophylle. Les données recueillies en 1978 permettent de suivre pratiquement mois par mois les variations des concentrations en chlorophylle sur ces deux lignes. Le trait le plus marquant est l'enrichissement centré sur l'Equateur et qui atteint son maximum en hiver austral, jusqu'en octobre. Au nord de cette zone, c'est à dire à partir de  $10^{\circ}$  N environ, l'eau de surface est très pauvre en chlorophylle. Au sud ouest au contraire, des concentrations relativement élevées, surtout en hiver austral pour cette année 1978 semblent résulter de très nombreuses îles qu'on trouve à l'ouest de  $135^{\circ}$  W.

## INTRODUCTION

A recent study (Dandonneau, under publication) has attempted to give a global account of results from oceanographic cruises which were conducted by the ORSTOM Centre in Noumea between 10° N and 30° S and 145° E and 180°, and to situate this region in relation to others which are better known and considered to be rich : the zone covered by the EASTROPAC cruises in the eastern tropical Pacific, and the eastern tropical Atlantic. Surprisingly, it seems that the chlorophyll contents are higher here than in the two index regions. This results makes one reconsider the south-west tropical Pacific which is generally accepted to be a poor region ; but it may be due to simple questions of dosage because, although this parameter offers the most rapid access to biological oceanography, the chlorophyll content still depends on the method employed.

Whatever may be the merit of wide descriptions (Koblents - Mishke et al, 1970, Taniguchi, 1972), it is absolutely impossible to obtain a good description of chlorophyll variations by using different sources of data, particularly because time variations greatly hinder space descriptions when all data have not been collected at the same time.

Furthermore, physical studies have granted access to the ocean scale and fully reveal limiting factors in descriptions of oceanographic cruises and also the usefulness of all data collections which deal more or less with oceanography and make it possible to follow up developing situations within a reasonable time limit.

It is within this framework of ideas that chlorophyll measurements were introduced into the sea surface sampling program by merchant vessels, since chlorophyll is without doubt the easiest biological parameter to measure and is located on the axis between physical events and the biological chain.



## METHODS

Chlorophyll sampling on board on merchant vessels is conducted gratuitously by seamen who are unfamiliar with laboratory work. Operations should be as simple as possible, otherwise they will often be poorly accomplished, and should also be freely conducted in as little time as possible, or else crews are unwilling to undertake them.

Owing to these special conditions, a particular method was adopted and is actually being described (Dandonneau and Neveux, under preparation) and can be summarized as follows :

H.A. Millipore filters (diameter : 25 mm) are placed in a filter cartridge and a volume of 50 ml of sea surface water is pushed through with a syringe. The filters are then stored in a jar containing silicagel, and kept cold and dark in a refrigerator. The jar is passed on to the laboratory in Noumea when the ships dock locally, and measurements of chlorophyll concentrations are then taken. To simplify and speed up these measurements, the filters are exposed in a fluorometer without being extracted. Filter fluorescence makes it possible to calculate the sea surface chlorophyll content by calibrating according to the spectrophotometric method of Strickland and Parsons (1968).

No distinction is made between "active" chlorophyll and pheophytin, since the precautions to be taken between sampling and analysis would impose too arduous a task on the ships crews and, at the outset of the program, it was decided to sacrifice data sophistication in favour of data quantity, so that permanent control of the ocean could be undertaken with very little resources.

## RESULTS

This program was launched in 1977, but it was only at the beginning of 1978 that the main problems of methodology were settled and that an agreement was reached with the shipping network to undertake this permanent control operation.

The results given in the present originate from two shipping routes : Australia - California (Pacific Direct Lines) and Australia - Panama (Compagnie Générale Maritime). These routes are covered at least once a month since June 1978.

Figures 1 - 12 reveal chlorophyll concentrations observed per month and per five degrees squares. In January (figure 1) one single section from Australia to California reveals a rather flat profile which culminates towards the Equator and to the extreme south near Australia. A maximum was observed on the Equator in February (figure 2) and appears more accentuated on the Panama route. High concentrations are also observed around New Caledonia and the area of the Marquesas Islands and the Tuamotu Archipelago. In March (figure 3), data are once again lacking on the Panama route ; the values observed always culminate towards the Equator, but to a very low extent, as in January. Some other high concentrations were observed close to the coast of California and also near New Caledonia and Tahiti.

In April (figure 4), the only available data originate from the Australia - Panama route where concentrations are low. Higher concentrations are only found around New Caledonia. In May (figure 5) on the Australia - California route, the equatorial zone is distinctly enriched and a striking contrast appears between the south with relatively high concentrations, and the north with poor waters. This situation was confirmed in June (figure 6) when the highest concentrations were observed to the east between the Equator and Panama ; this rich zone seems to extend as far as Tahiti, whereas between Tahiti and the New Hebrides, the concentrations measured were low.

In July (figure 7), the chief change emanated from extremely high concentrations situated in the sector of the islands located between New Caledonia and the Samoa chain. During August (figure 8), extremely high concentrations were located towards the East, centred on the Equator, stretching as far as Tahiti ; high concentrations were also observed on the Tasman Sea. In September (figure 9), results were similar but the enriched zone on the Equator, at least in the East, becomes slightly lower and reduced in surface.

In October (figure 10), further activity is noted on the eastern Equatorial zone, whereas at 170° W and further East, chlorophyll enrichment appears to originate from southern waters. In November (figure 11), the rich zone centred on the Equator to the East is reduced in size but not in intensity ; a clear reduction of observed concentrations is noted between Australia and the Samoa Islands chain, whereas one of the two routes between the Equator and North America has revealed a relatively high content. December (figure 12) is badly represented, as some ships operating during this period have not yet arrived in Noumea.

Figures 13 - 16, which group these data per trimester, conceal short term events, but offer a better space covering. These four charts, together with the trimestrial sections Australia - California, and Tahiti - Panama (figures 17 and 18), all reveal a distinct chlorophyll enrichment across the Equator on the two shipping routes and particularly to the East. A very pronounced strengthening of this zone particularly appears during the third trimester, and also for the fourth trimester for the Panama route. Beyond 15° N and 15° S, the equilibrium between summer and winter is pronounced particularly in the South, and much higher contents are observed during the winter.

Figure 19 gives an account for the whole of 1978. The Equatorial zone forms a crest, but the dissimetry between the southern and northern parts is clearly defined, the later being poorer. On the other hand, no clear distinction appears between the East and the West.

#### DISCUSSION

The last point referred to is surprising : in fact, the eastern part of the Pacific Ocean is occupied by highly active upwellings forming one of the most fertile marine areas throughout the world. One should however note that the shipping routes described herein sample the upwellings of California and Peru to a very little extent. Furthermore, it so happens that high values were not taken in consideration to the East, when tracing figure 19, since they were taken from rectangles which had not been sufficiently examined.

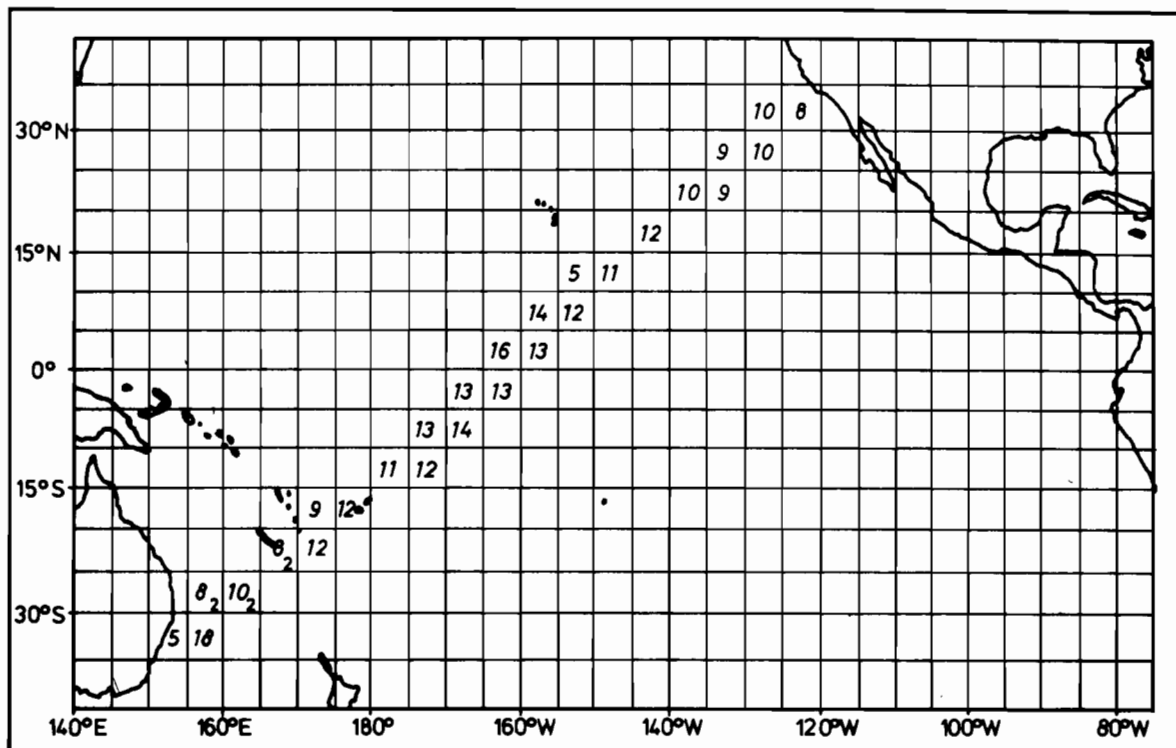


Fig. 1 : January 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines) and the RODIN (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ . The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

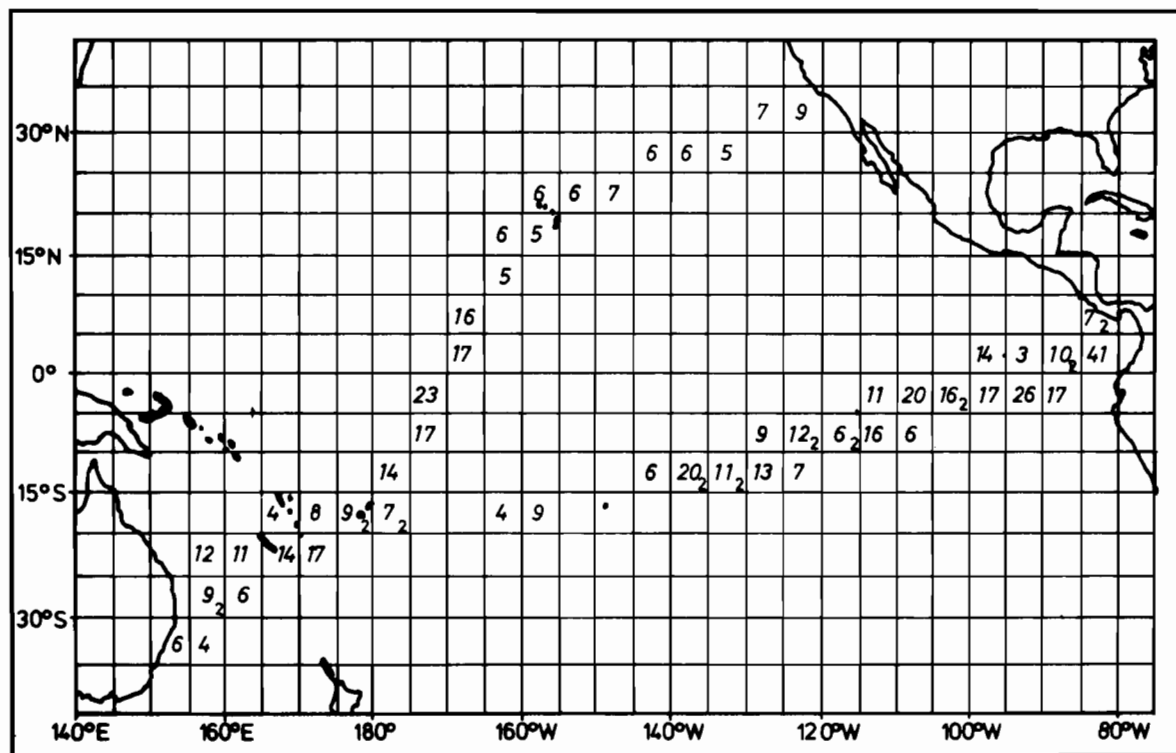


Fig. 2 : February 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines) and the RODIN and the ROSTAND (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ . The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

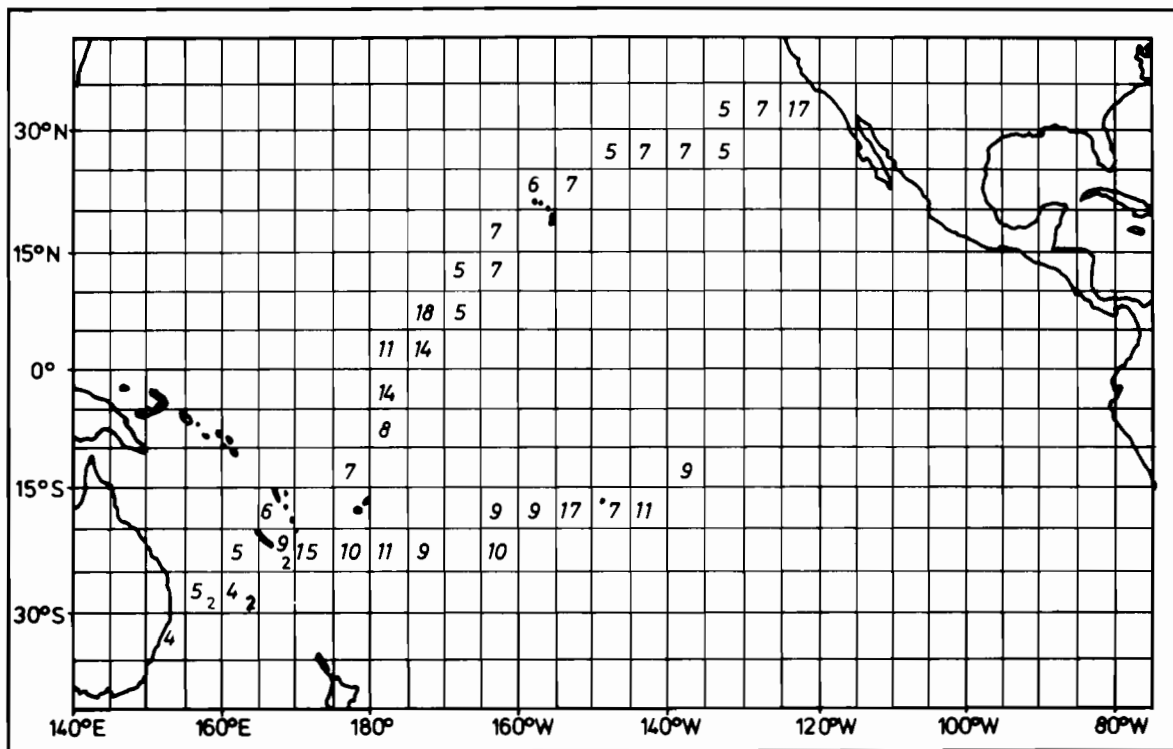


Fig. 3 : March 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines) and the ROSTAND (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in mg /100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

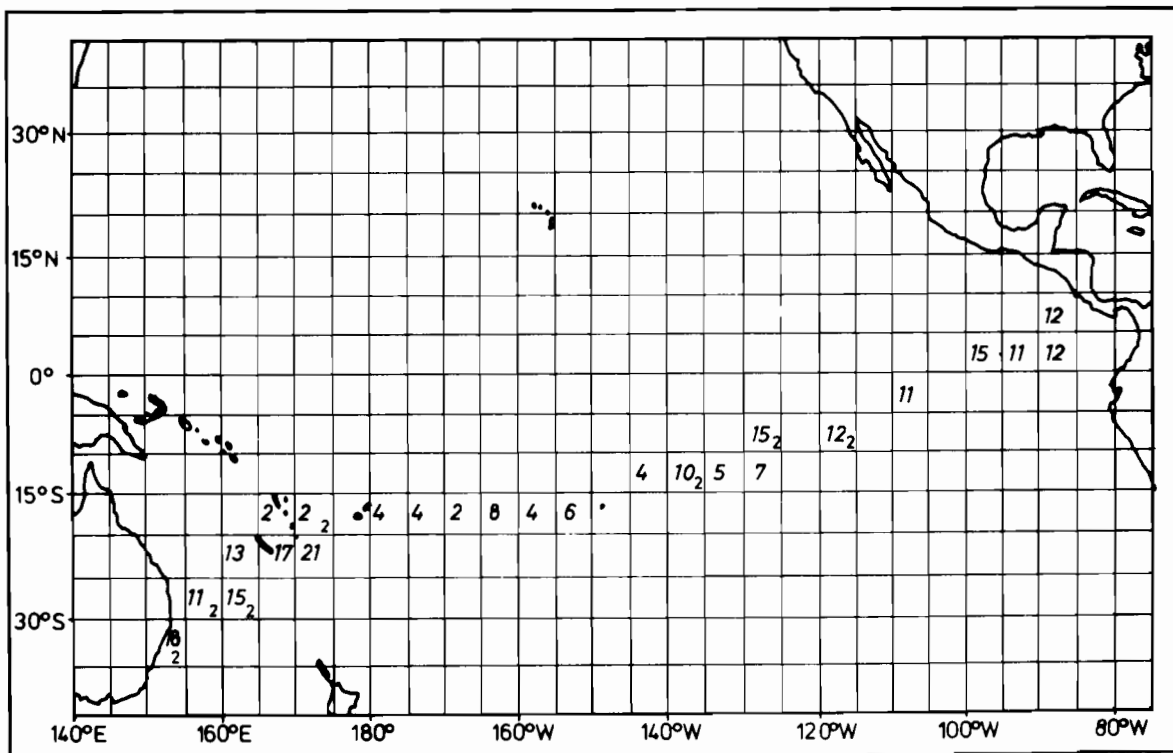


Fig. 4 : April 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines), the ROSTAND, and the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in mg /100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

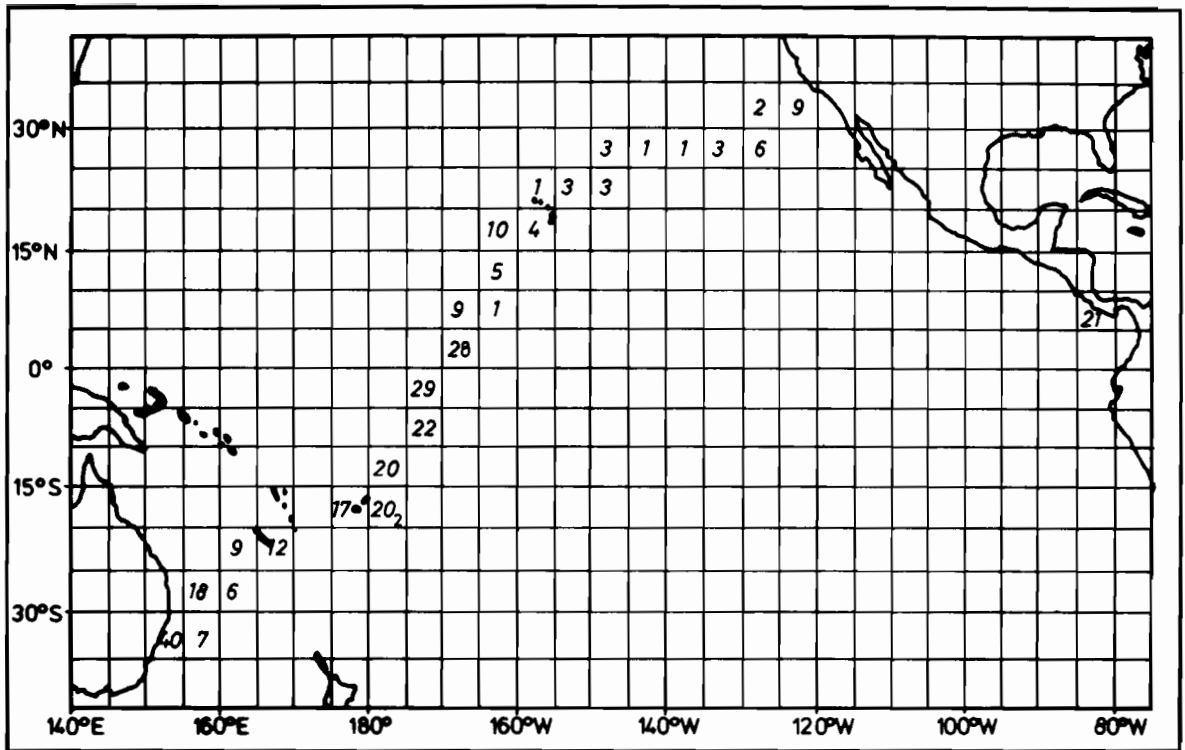


Fig. 5 : May 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines), The RODIN, and the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in mg / 100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

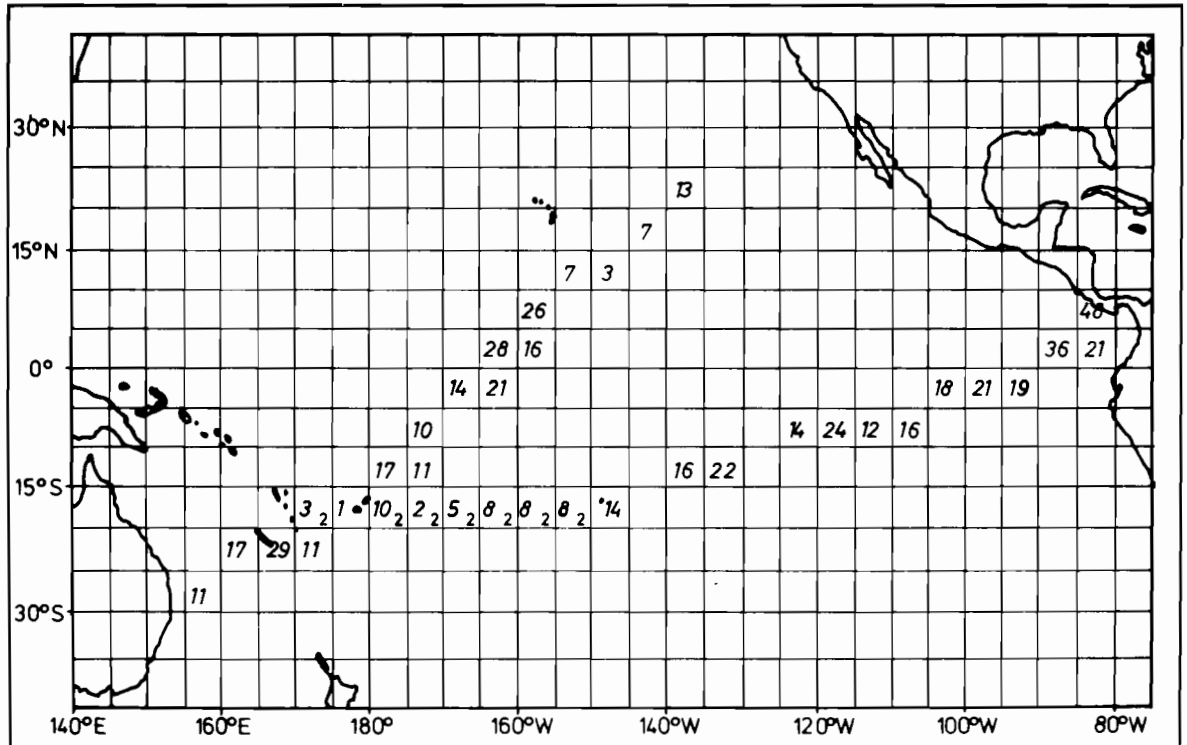


Fig. 6 : June 1978 . Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines), the RODIN and the DEGAS (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in mg / 100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

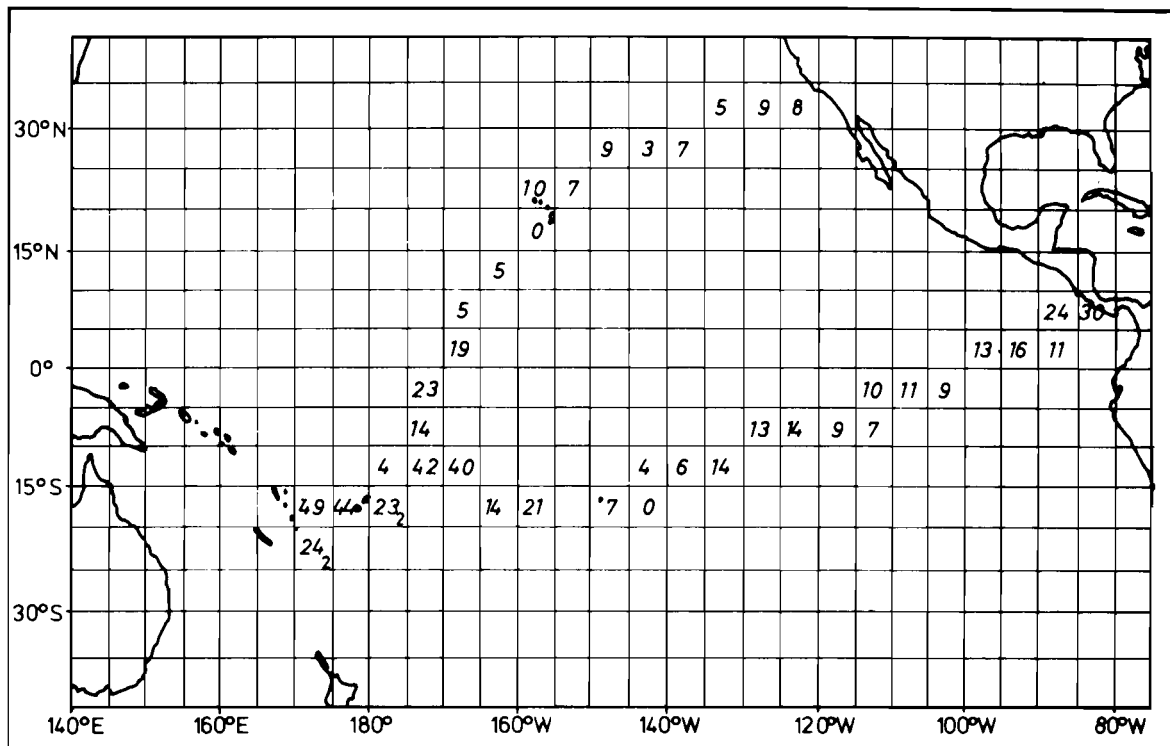


Fig. 7 July 1978 : Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines), the CEZANNE, the DEGAS, and the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ . the number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

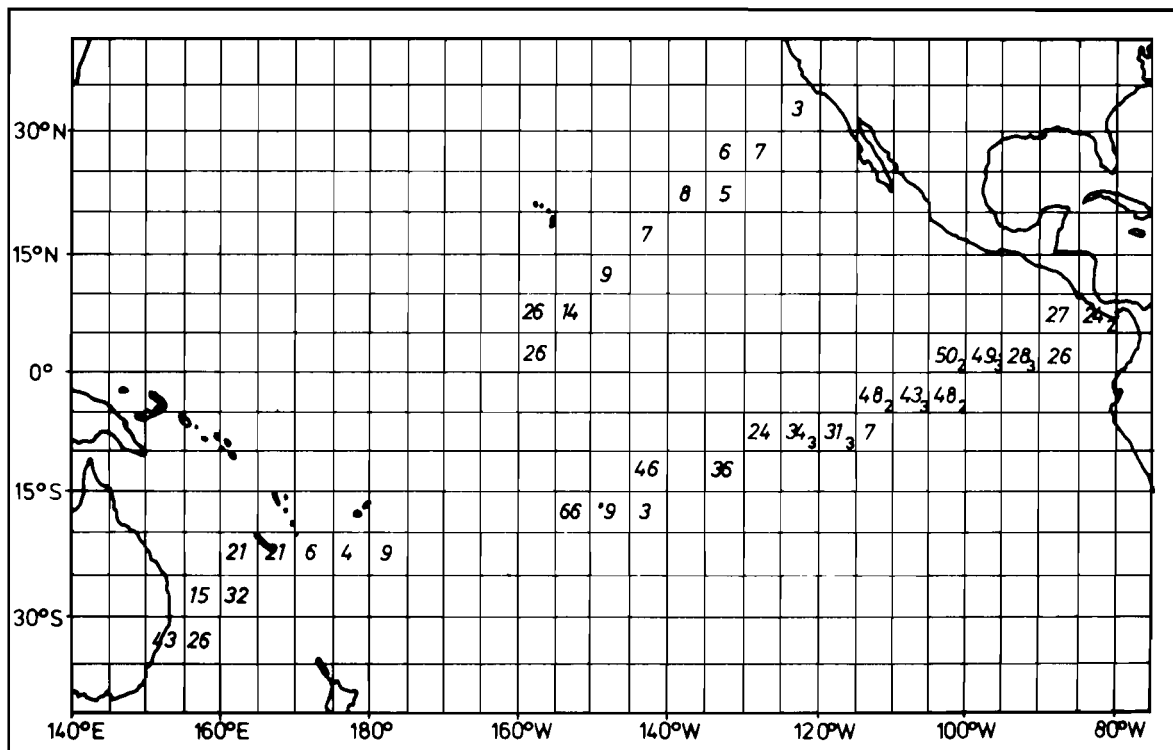


Fig. 8 : August 1978. Samples collected by the DILKARA (Pacific Direct Lines), the CEZANNE, the RODIN, the ROSTAND and the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ .

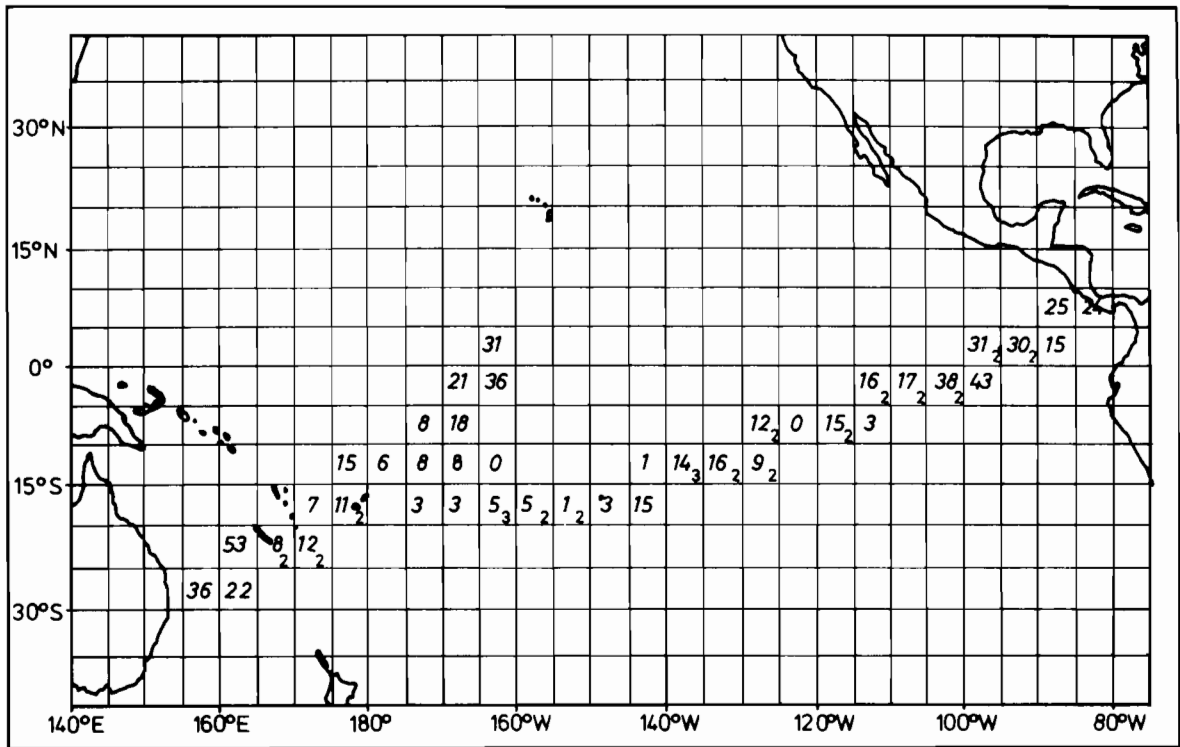


Fig. 9 : September 1978. Samples collected by the ALLUNGA, the DILKARA (Pacific Direct Lines), the DEGAS, the RODIN and the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime). Chlorophyll concentrations are expressed in mg/100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

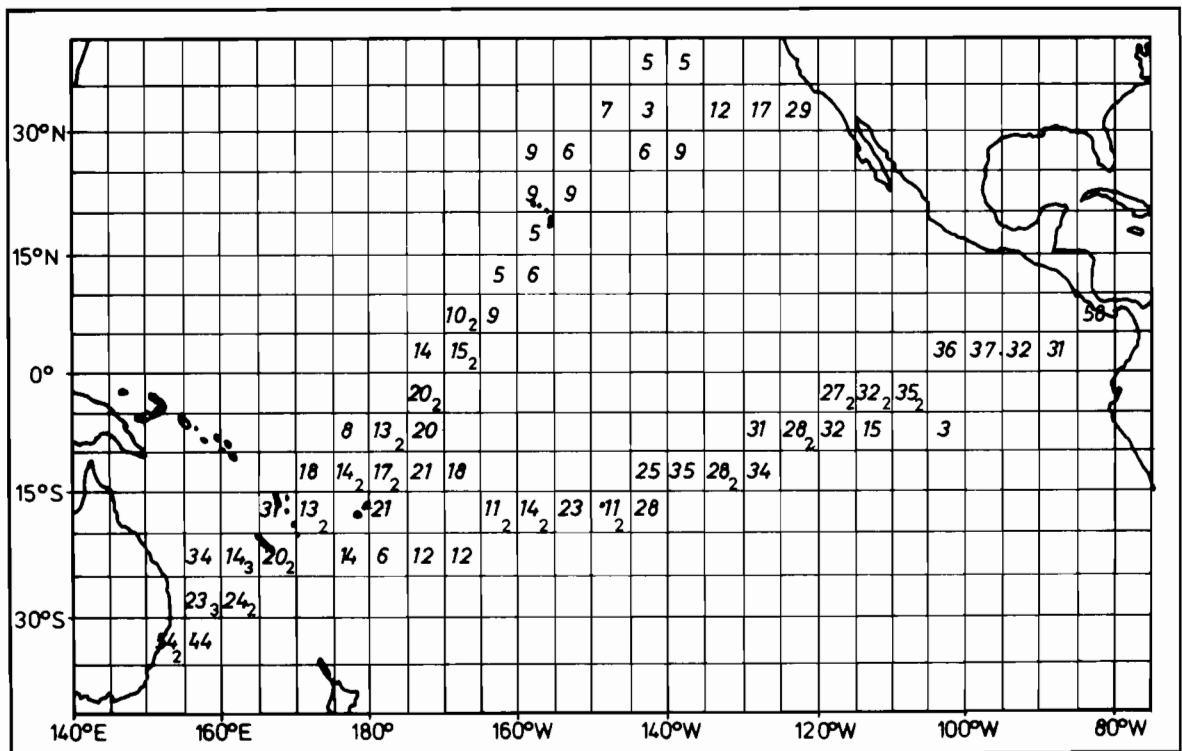


Fig. 10 : October 1978. Samples collected by the ALLUNGA, the DILKARA (Pacific Direct Lines), the CEZANNE, the DEGAS, the RODIN, the ROSTAND (Compagnie Générale Maritime) and the NICKEL I (Société Le Nickel). Chlorophyll concentrations are expressed in mg/100 m<sup>3</sup>. The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.



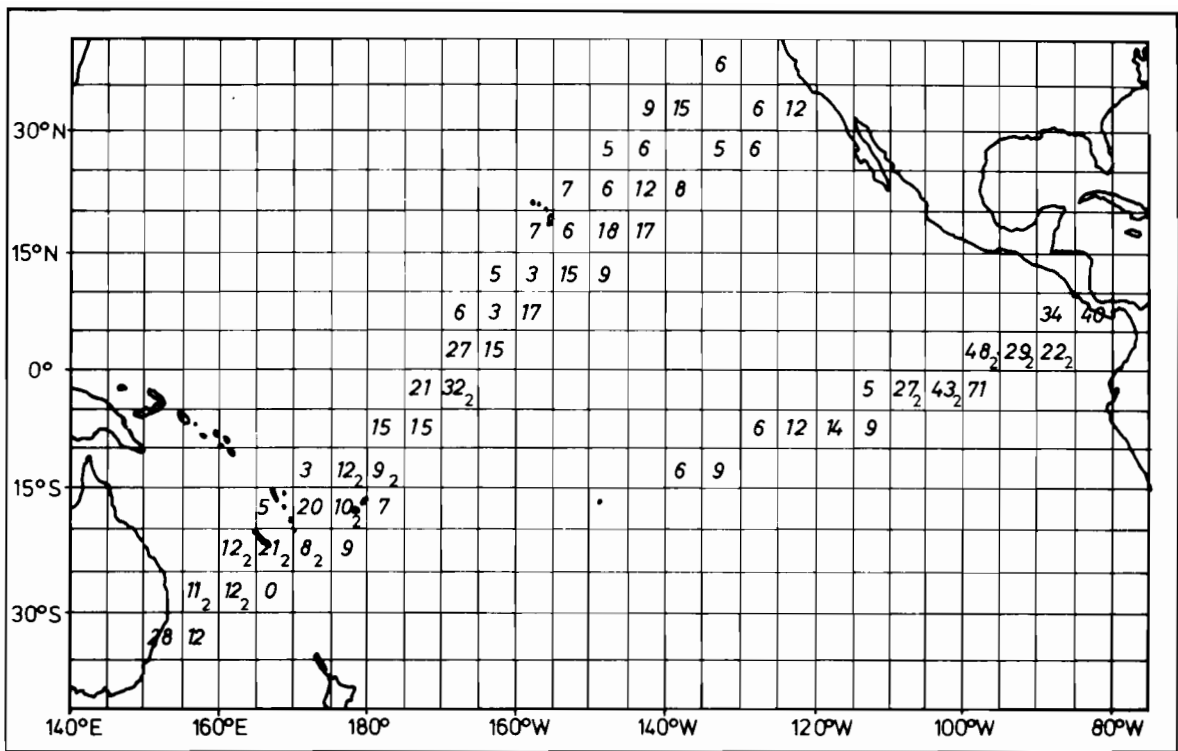


Fig. 11 : November 1978 - Samples collected by the ALLUNGA, (Pacific Direct Lines) the CEZANNE, the DEGAS, the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime), and the NICKEL I (Société Le Nickel). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ . The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.

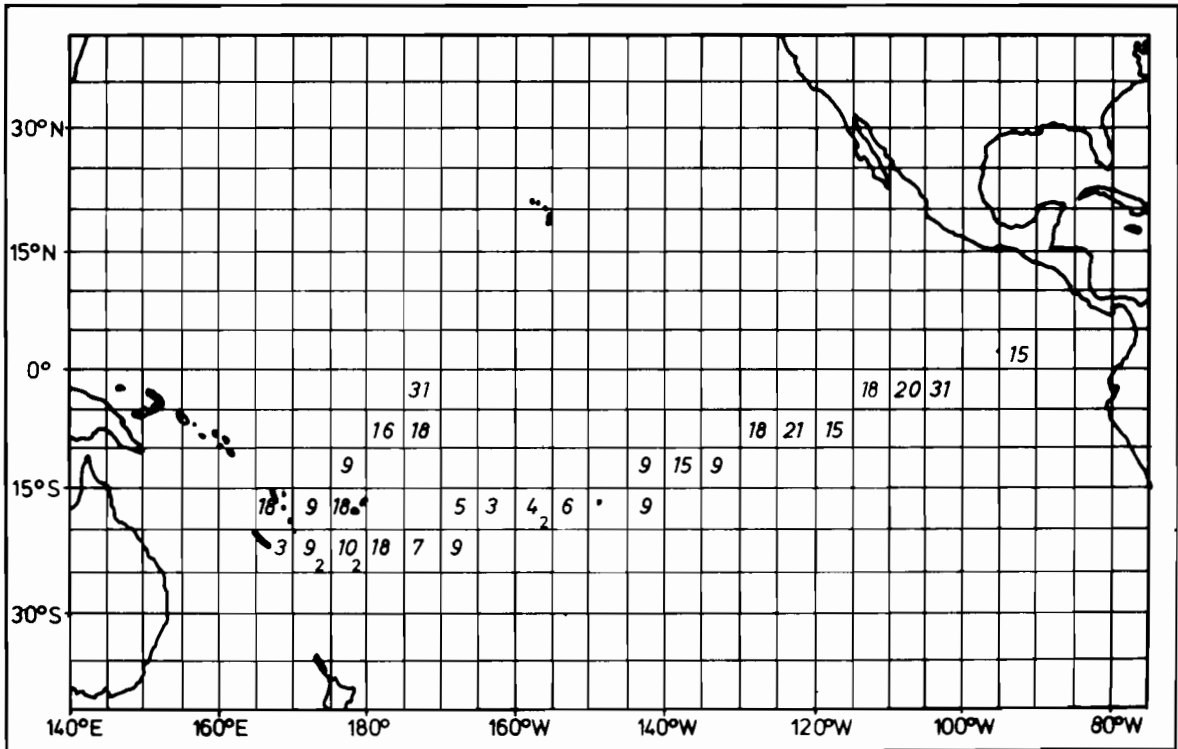


Fig. 12 : December 1978 . Samples collected by the RODIN, the ROUSSEAU (Compagnie Générale Maritime) and the NICKEL I (Société le Nickel). Chlorophyll concentrations are expressed in  $\text{mg} / 100 \text{ m}^3$ . The number at the lower right corner is the number of ships when greater than one.



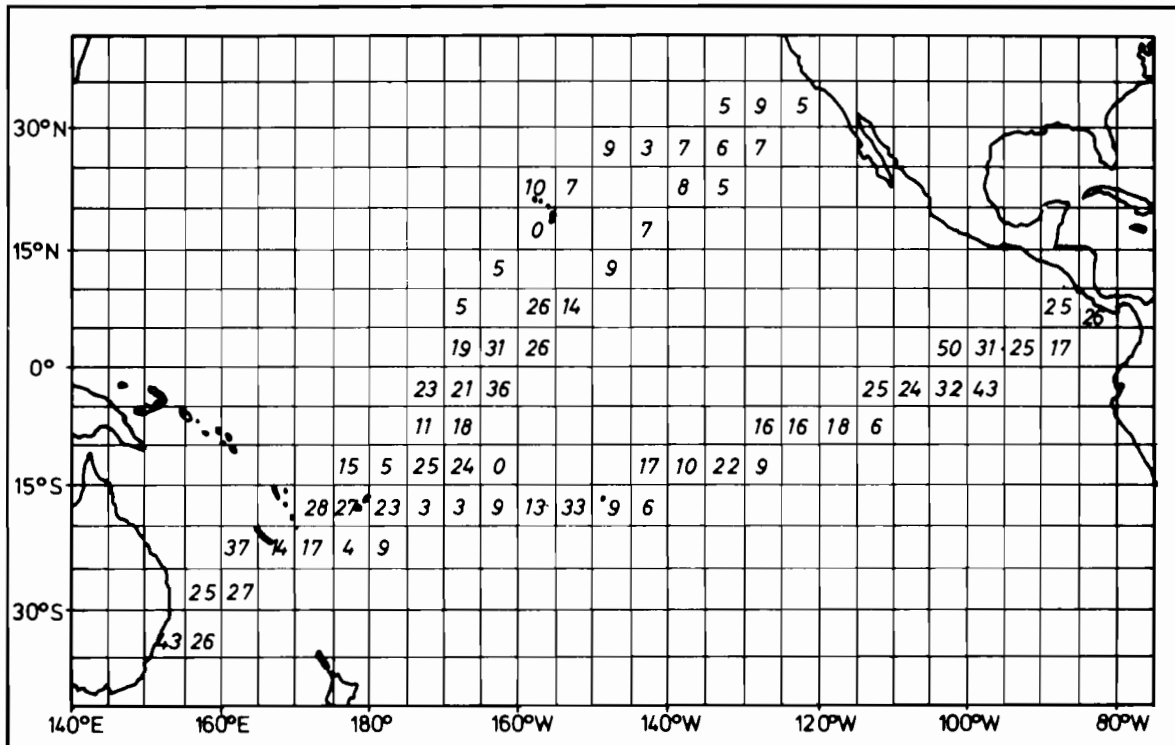
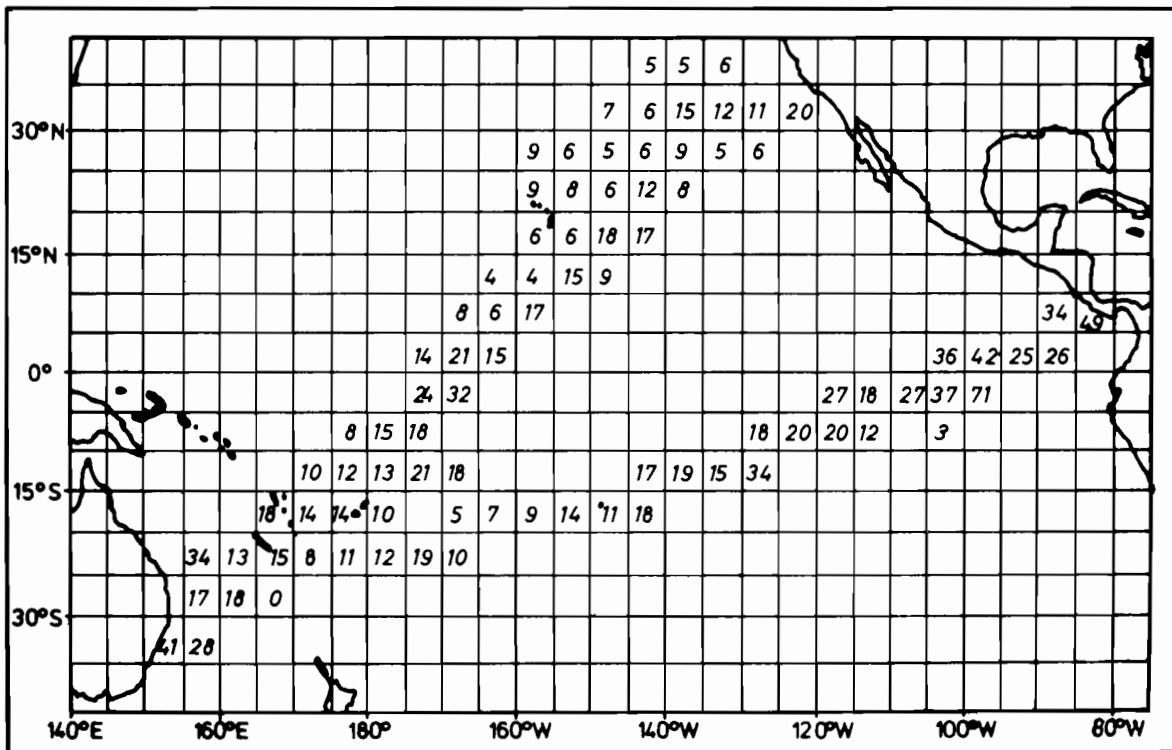


Fig. 15 : July, August, September : Mean values. Chlorophyll concentrations are expressed in mg / 100 m<sup>3</sup>.



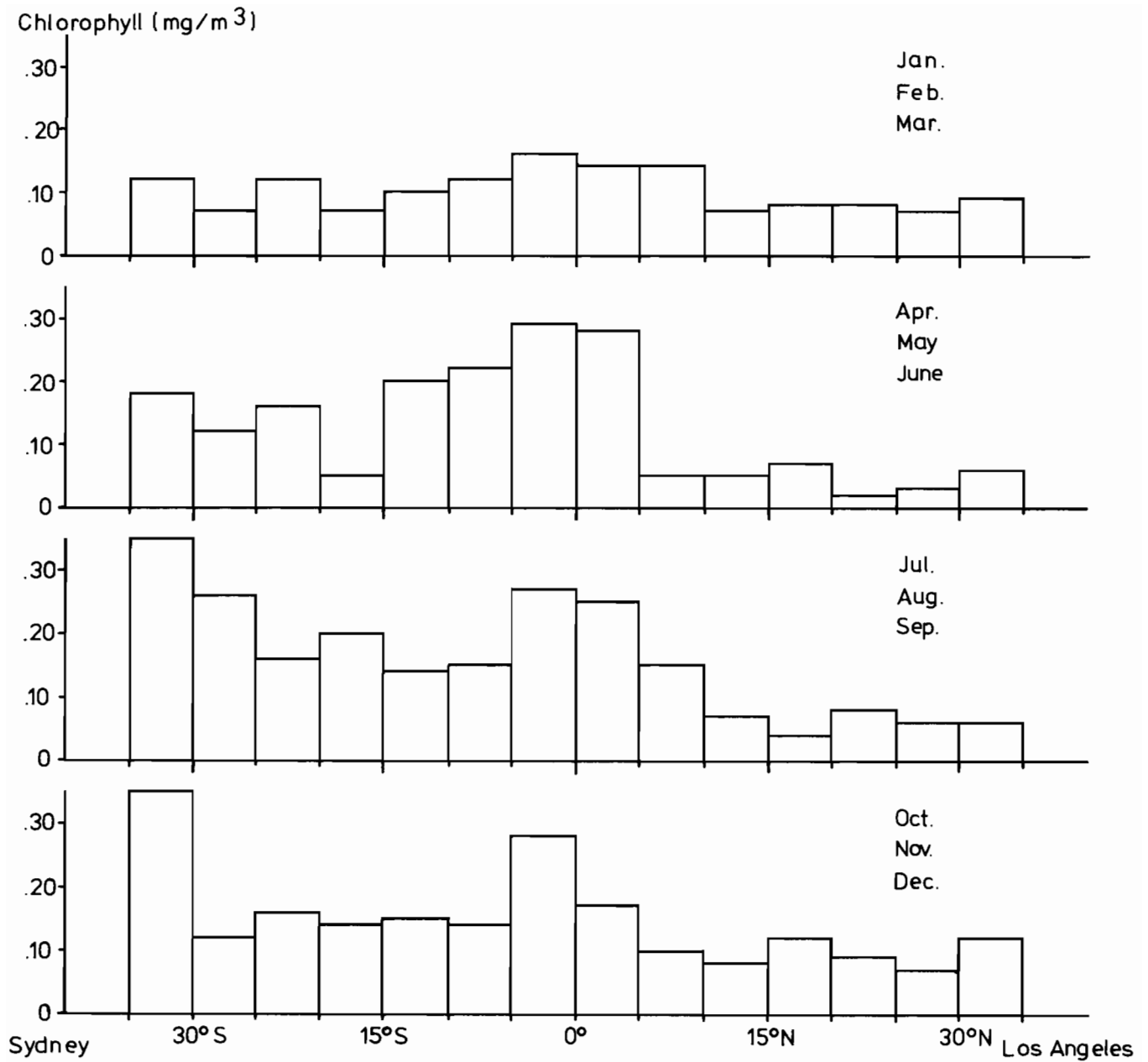


Fig. 17 : Variations of the chlorophyll concentrations at the sea surface between Australia and California in 1978.

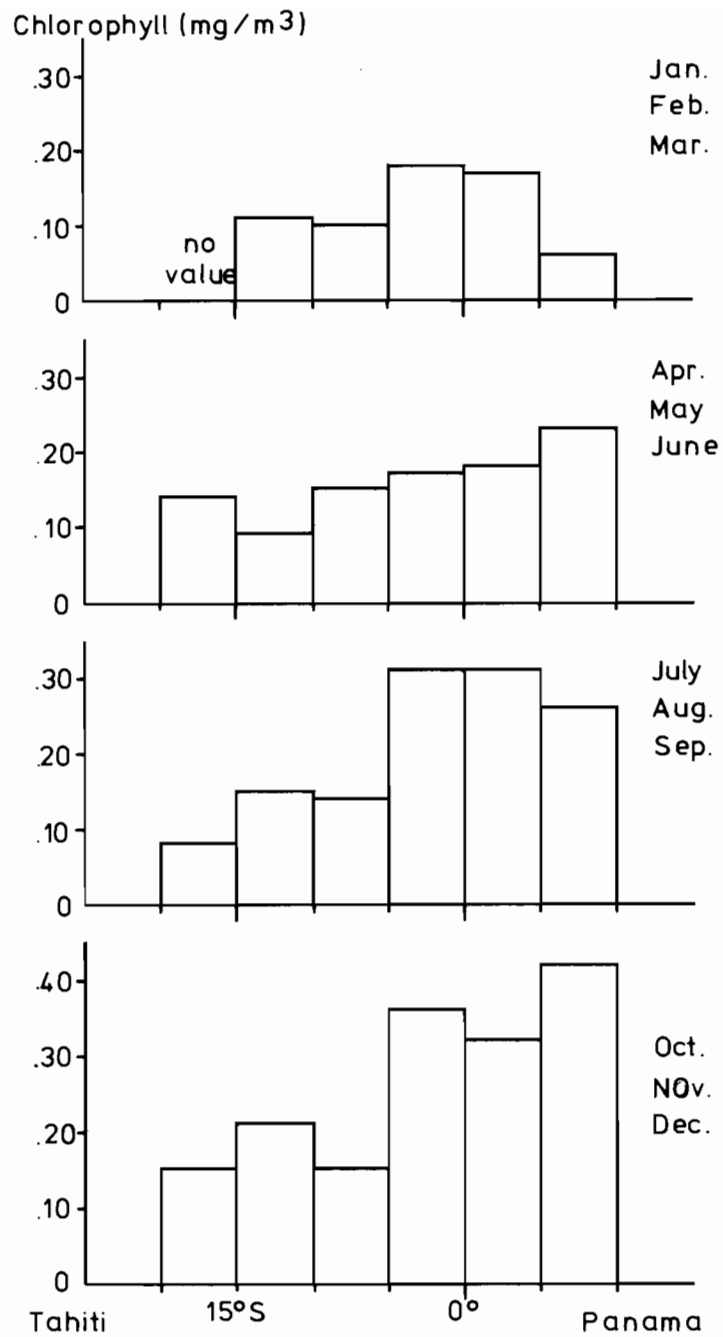


Fig. 18 : Variations of the chlorophyll concentrations at the sea surface between Tahiti and Panama in 1978.

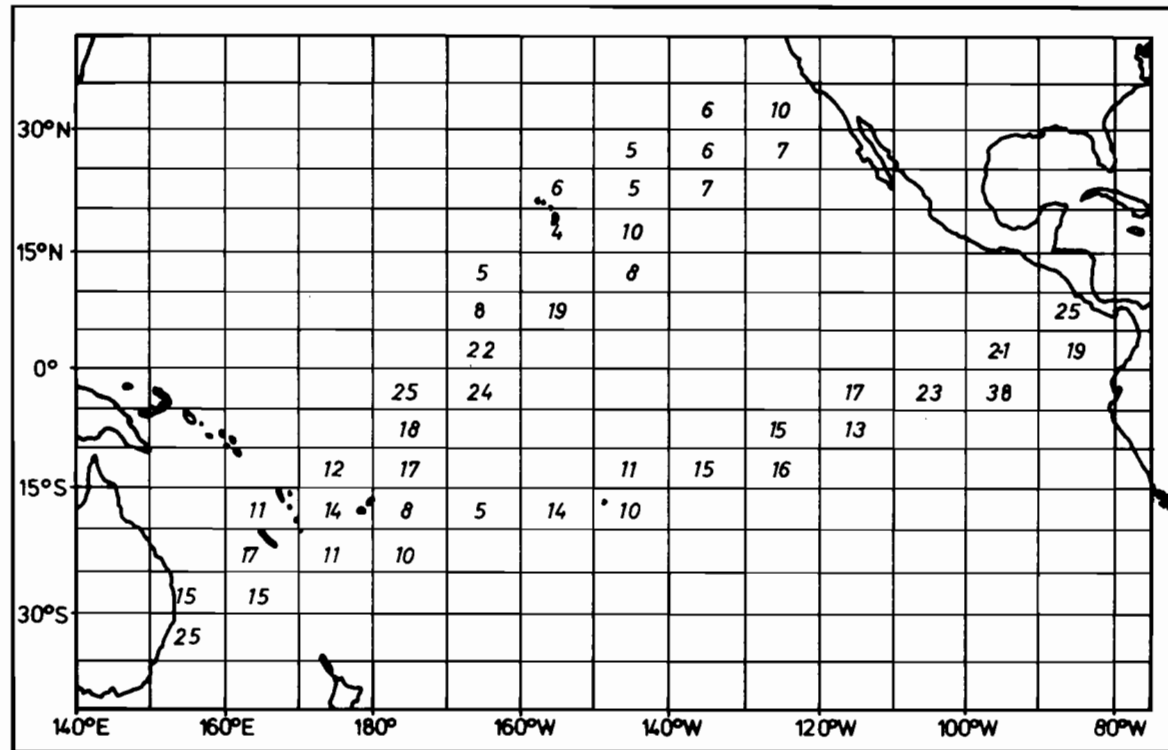


Fig. 19 : Mean surface chlorophyll concentrations in 1978, established from data shown in figures 13, 14, 15 and 16. Five degrees squares sampled during less than three year quarters have been removed. Those with three quarters have been completed according to the neighbouring ones.

The study of detailed chart of the Pacific Ocean furthermore reveals, to the East of 135° W, hundreds of islands particularly in the South. "Islands Effects" studied by Gilmartin and Revelante (1974) can explain both the north-south dissimetry in sea-surface chlorophyll distribution, and the absence of a distinct East-West dissimetry, due to the effects of islands without coastal upwelling in the South-West tropical Pacific. This assumption was already evoked by Dandonneau (under publication).

Taniguchi (1972) analysed the results of different cruises and gave sea surface chlorophyll contents (colorimetry) for the north - equatorial current north of Fiji which correspond fully to those described herein (figure 19) between 15° N and 15° S on the Californian route. Seasonal variations on the Equator appear on figures 17 and 18 and reveal a maximum at the end of the year, completely opposite to those of the EASTROPAC cruises, which marked a minimum from August to November (Owen and Zeitschel, 1970). The highly productive zone also seems very variable and future sampling by merchant vessels will probably provide a wealth of information.

The reliability of these data has still to be examined. The chlorophyll "a" to which are draught the chlorophyll concentrations calculated from Strickland and Parsons (1968) equations, does not take into account the possibly large ratio of phaeopigments which can detract value from the results given in terms of primary production. Similarly, surface chlorophyll is not chlorophyll in the whole layer. Lorenzen (1970) showed a good correlation between both, but difference probably do exist from one season to the next and these are still to be determined : merchant vessels cannot take samples at depth, nor can they undertake separate dosing for active chlorophyll and pheophytin.

#### CONCLUSION

Although this sea surface chlorophyll sampling undertaken by merchant vessels is extremely basic, it offers results which comply perfectly with current knowledge : the Equatorial divergence, and "Island effects" are included, as well as their variations throughout the year. The observation network used for 1978 was in-

complete, but now is far more dense and operates regularly. In addition, on certain vessels, zooplankton sampling is conducted. This program will provide a great deal of information for a very wide region where data are only provided from sparse oceanographic cruises, which themselves are becoming rarer. It can also provide the "ground truth" for satellites pictures which, once we know how to interpret them, will become far more efficient.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The network of merchant vessels was already operating, owing to my colleagues Jean-René Donguy and Christian Hénin. We are grateful to the crews for their active collaboration and their interest in this sampling program.

#### REFERENCES

- Dandonneau, Y. (in press) : Concentrations en chlorophylle dans le Pacifique Tropical Sud Ouest : comparaison avec d'autres aires océaniques tropicales. *Oceanologica Acta*.
- Dandonneau, Y. and J. Neveux (en préparation) - A fluorometric method without extraction for rapid determination of chlorophyll concentration on samples collected by merchant ships.
- Gilmartin, M. and N. Revelante, 1974 - The "island mass" effect on the phytoplankton and primary production of the Hawaiian island. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 16 : 181-204.
- Koblentz-Mishke, D.I., V.N. Volkovinsky and Y.G. Kabanova, 1970 - Plankton primary production of the world ocean. - SCOR Sympos. *Sci. Explor. South Pacific*. W.S. Wooster (ed.), Washington D.C.
- Lorenzen, C.J., 1970 - Surface chlorophyll as an index of the depth, chlorophyll content, and primary productivity of the euphotic layer. *Limn. Oceanogr.* 15(3) : 479-480.



- Owen, R.W. and B. Zeitschel, 1970 - Phytoplankton production : seasonal change in the oceanic eastern tropical Pacific. Mar. Biol. 7(1) : 32-36.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1968 - A practical handbook of sea water analysis. Fish. Res. Bd. Canada Bull. 167, 311 p.
- Taniguchi, A., 1972 - Geographical variation of primary production in the western Pacific Ocean and adjacent seas with reference to the inter-relations between various parameters of primary production. Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 19 (1/2) : 1-34.



# *Plectranthias randalli* n. sp., un nouveau Serranidé (Anthiiné) du sud-ouest Pacifique

par P. FOURMANOIR et J. RIVATON \*



*Plectranthias randalli* n. sp. 300 m.

J. Rivaton

## SUMMARY

The new species *Plectranthias randalli*, from Chesterfield island in the Coral Sea, was collected in moderately deep water (300 m) by the R/V «Vauban». With 39 lateral-line scales, it has more scales than any other (30) *Plectranthias* with the exception of *P. taylori* Randall (in press) bearing 40-41 scales.

The soft dorsal has 17 rays, the pectoral 14 rays.

On the head there is a deep red-brown bar crossing the cheek ; two orange-yellow to red bars on the body, the anterior one interrupted at the level of the pectoral, the posterior outruns the ventral profile extending on anal fin, a terminal red spot is situated dorsally at a short distance of the caudal.

The unique specimen (S.L. 102 mm) is deposited at M.N.H.N., Paris, under the n° 1979-430.

## Introduction

*Plectranthias* est le genre de la sous-famille des Anthiinés qui se rapproche le plus des «Serrans» par la forme, le genre de vie et la couleur. Les *Plectranthias* ont une mâchoire puissante qui s'étend loin en arrière de l'œil, disposition en

rapport avec une vie de prédateur benthique. Un petit nombre d'espèces comme *longimanus* et *nanus* vivent dans les madrépores à moins de 10 m, les autres sont en eau moyennement profonde ou profonde (200 m - 400 m).

La couleur rouge, rose et jaune est loin d'être constante comme chez les autres genres. Ils ont, le plus souvent, des bandes rouges ou brunes obliques ou transverses et une pigmentation du pédoncule caudal formant ocelles, taches simples ou disposées en rosace.

Par contre, on pourrait considérer les autres Anthiinés comme une famille distincte des Serranidés, car ils sont plus actifs et bien meilleurs nageurs, pourvus en général de larges écailles et d'une livrée «rouge et or» caractéristique. En adoptant ce point de vue, on a même proposé d'introduire chez les Anthiidés, *Variola louti* (croissant ou saumonée hirondelle), l'unique Serranidé très bon nageur pourvu d'une robe rouge et orange.

Les *Plectranthias* ont des tailles très variables, les plus petits n'ont que 2,5 cm, les plus grands atteignent 30 cm de longueur standard.

\* Office de la Recherche scientifique et technique outre-mer. Centre de Nouméa, B.P. A 5 Nouméa Cédex - Nouvelle-Calédonie.

Les autres caractères de *Plectranthias* sont les suivants :

Préopercule avec le bord inférieur parfois pourvu de deux épines dirigées vers l'avant, bord vertical denticulé ou lisse. Écailles cténoïdes. Tête complètement recouverte d'écailles ou privée d'écailles sur le museau, la région interorbitaire, sous-orbitaire et maxillaire. Nageoires dorsale et anale en général pourvues de petites écailles basales.

Les troisième et cinquième épines dorsales sont les plus longues. La dorsale a une encoche ; chez certaines espèces, la partie épineuse est complètement séparée de la partie molle. La deuxième épine anale est la plus longue. La nageoire caudale est faiblement échancrée, tronquée ou arrondie. La pectorale dont les rayons médians sont les plus longs atteint la verticale passant à l'origine de l'anale.

Le genre, révisé par Randall (sous-espèce, *Micronesica*), comporte 30 espèces dont 16 sont décrites comme nouvelles, nombre en augmentation surprenante par rapport à celui de la dernière révision, faite en 1972, où il n'était que de 3 espèces. Cet accroissement est dû en partie à la mise en synonymie avec *Plectranthias* des genres *Pteranthias*, *Xenanthias*, *Pelontrus*, *Zalanthias*, *Sayonara*, *Isobuna*, et surtout à la capture d'un grand nombre d'espèces dans des nasses à Poissons et au chalut. L'exemplaire unique (L.S. 102 mm) de *Plectranthias randalli* a été pris au chalut par le «Vauban», bateau de recherche de l'Orstom, sur un plateau central de l'île Chesterfield aux coordonnées 19° 40' S - 158° 31' E à 300 m de profondeur. Nous sommes reconnaissants à M. Barro de nous l'avoir confié pour étude.

C'est la quatrième espèce nouvelle du genre *Plectranthias* prise au voisinage de la Nouvelle Calédonie en deux ans. Elle est reconnaissable à sa bande oculaire brun-rouge très contrastée et à son nombre élevé d'écailles. Ses trois bandes transverses rappellent celles de deux espèces récemment trouvées en Nouvelle Calédonie entre 100 m et 200 m, *Plectranthias retrofasciatus*, *P. rubrifasciatus* et, dans un genre différent, l'espèce présente aussi une similitude avec le jeune de *Lutjanus sebae*.

L'œil, de diamètre moyen, a une dimension bien inférieure à celle de *P. megalophthalmus*, mais égale à celle de *P. kellogi* trouvés aussi à la profondeur de 300 m. Sa forme est élevée et son corps aplati.

Sept autres espèces, des genres *Aulopus*, *Monocentris*, *Chelidoperca*, *Dactylanthias*, *Antigonia*, *Champsodon*, *Synodus*, *Hoplichthys*, ont été trouvées dans le chalut en même temps que *Plectranthias randalli*.

#### Dimensions de l'exemplaire unique (M.N.H.N., Paris, n° 1979-430)

Longueur standard 102 mm, hauteur 44 mm, tête 44 mm, œil 8,5 mm, interorbitaire 7 mm, maxillaire 19 mm, hauteur pédoncule caudal 13,5 mm.

Nageoires : pectorales 32 mm ; ventrales 27 mm ; 1ère épine dorsale 9 mm, 3ème épine dorsale 20 mm, 10ème épine 7,5 mm, rayons segmentés médians 13,5 mm, 2ème épine anale 17 mm, 2ème rayon anal 23 mm ; rayon caudal supérieur filamenteux 30 mm, rayons médians 20 mm.

#### Description

Rayons de la nageoire dorsale X, 17 ; rayons de l'anale III, 7 ; rayons de la pectorale 14, ils sont tous branchus à l'exception du supérieur et de l'inférieur ; ligne latérale complète ayant 39 écailles pourvues de pores ; 6 écailles entre la ligne latérale et l'origine de la dorsale ; une canine en avant de la mâchoire supérieure, une canine antérieure et une canine postérieure à la mâchoire inférieure, séries de dents villiformes aux deux mâchoires ainsi que sur le vomer et les palatins où elles sont émoussées ; tout le bord du préopercule porte de petites épines (56), il y a sept petites épines le long du bord inférieur de l'opercule et dix sur le bord supérieur de l'interopercule, le maxillaire porte des écailles ; branchiospines 2 + 13 (en plus 5 rudiments à la partie supérieure de l'arc).

La hauteur du corps est comprise 2,3 fois dans la longueur standard, la tête égale la hauteur du corps, le diamètre orbitaire est compris 5,1 fois dans la longueur de la tête, l'espace interorbitaire 6,1 fois et la hauteur maximum du pédoncule caudal 3,2 fois.

Le maxillaire dépasse légèrement le centre de la pupille. La langue, allongée et étroite, arrondie à l'extrémité, porte des dents minuscules. La plus longue branchiospine est égale au diamètre de l'œil. La narine antérieure est tubulaire.

Les écailles sont cténoïdes sur le dessus de la tête, elles atteignent le niveau de la narine antérieure.

Trois épines bien développées sur l'opercule, la centrale est proche de l'inférieure.

L'origine de la nageoire dorsale est légèrement antérieure à celle de la ligne latérale, la 3ème épine qui est la plus longue est comprise 2,2 fois dans la tête, la dernière est comprise 2,1 fois dans la longueur de la première. Les rayons médians de la dorsale molle, les plus longs sont compris 3,3 fois dans la longueur de la tête. La deuxième épine de l'anale est comprise 2,5 fois dans la tête, et le 2ème rayon mou (le plus long) 1,9 fois. La nageoire caudale est échancrée, le rayon supérieur est filamenteux (longueur 1,4 fois dans la tête). Les pectorales atteignent la verticale passant à l'origine de l'anale.

#### Coloration

Sur un fond rose pâle se détachent trois larges bandes de couleur vive, la première brun-rouge, inclinée à 45°, part du bord inférieur de l'œil pour atteindre l'angle de l'opercule, elle se prolonge alors en prenant la couleur orange jusqu'à l'origine des nageoires ventrales ; la seconde, jaune orangé, est située derrière la tête, elle s'arrête au niveau de l'origine inférieure des pectorales ; la troisième qui traverse tout le corps a la même direction que la précédente, sa couleur d'abord jaune devient presque rouge en approchant de la région ventrale et en s'étendant sur la plus grande partie de la nageoire anale. La coloration jaune dorsale s'étend aussi sur les premières épines et les dernières épines de la dorsale. Les épines 3, 4, 5, 6, sur le parcours de la bande claire intermédiaire, sont entourées d'une membrane très blanche antérieurement. On remarque un point rouge sous l'origine des deux derniers rayons de la dorsale molle, une tache rouge plus importante est placée près de la caudale en haut du pédoncule caudal.

#### BIBLIOGRAPHIE

Koithaus (A.), 1967. - Fische des Indischen Oceans. In : Ergebnisse des ichthyologischen Untersuchungen während des Expedition des Forschungsschiffes «Meteor» in den Indischen Ocean. Oktober 1964 bis Mai 1965. A. Systematischer Teil X, Percomorphi : *Meteor Forsh. Ergebnisse*, Reihe D, n° 16 : 17-32.

Randall (J.E.) and P.C. Heemstra, 1978. - Reclassification of the Japanese cirrhitid fishes *Serranocirrhitus latus* and *Isobuna japonica* to the Anthiinae. *Japan. Journ. Ichth.*, 25 (3) : 159-165.

Smith (J.L.B.), 1961. - Fishes of the Family Anthiidae, *Ichth. Bull. Rodes Univ.*, 21 : 359-369.

Randall (J.E.) and P. Fourmanoir, 1979. - Three species of the genus *Plectranthias* (Serranidae) from New Caledonia (in press) *Micronesica*, 15 (1) : 315-324.

Yoshino (T.), 1972. - *Plectranthias yamakawi*, a new anthiine fish from the Ryukyu islands, with a revision of the genus *Plectranthias*. *Japan. Journ. Ichth.*, 19 (2) : 49-56.



## Surface conditions in the eastern equatorial Pacific related to the intertropical convergence zone of the winds

J. R. DONGUY\* and C. HENIN\*

(Received 17 August 1979; accepted 3 January 1980; final revision received 1 February 1980)

**Abstract**—Surface temperature and salinity data gathered by merchant ships along the Tahiti–Panama track from 1955 to 1978 are considered in relation to cloud cover. Equatorial upwelling is associated with strong cloudiness at its northern boundary. The cloudiness indicates the presence of the intertropical convergence zone of the winds. During the seasonal absence of upwelling, the position of the intertropical convergence zone is southernmost and the cloudy zone is south of the equator. In the case of El Niño, equatorial upwelling weakens, the northern cloud cover is minimal, and the intertropical convergence zone may shift southward. During El Niño, the surface salinity is affected by the position of the intertropical convergence zone.

### INTRODUCTION

THERE ARE few meteorological and oceanographical data from the eastern equatorial Pacific. However, in addition to the 1967–68 period during which Eastropac cruises gave a good description of the area, historical data from ship's logs are available from 1955 to 1973; a surface observation system, operated by the Centre ORSTOM de Noumea, was started in 1970 with the help of French naval vessels and merchant ships. The following data will be used:

(1) Historical data issued by the French "Météorologie Nationale" and gathered by merchant ships between Tahiti (17°33'S, 149°37'W) and Panama (8°57'N, 79°33'W). The data start in 1955 and run through the end of 1973; there are about 40,000 observations of sea surface temperature and routine meteorological observations.

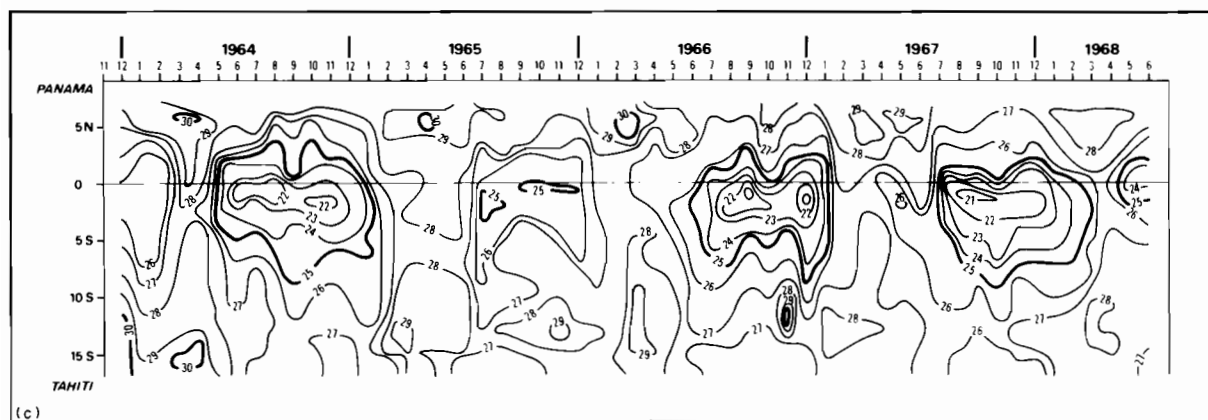
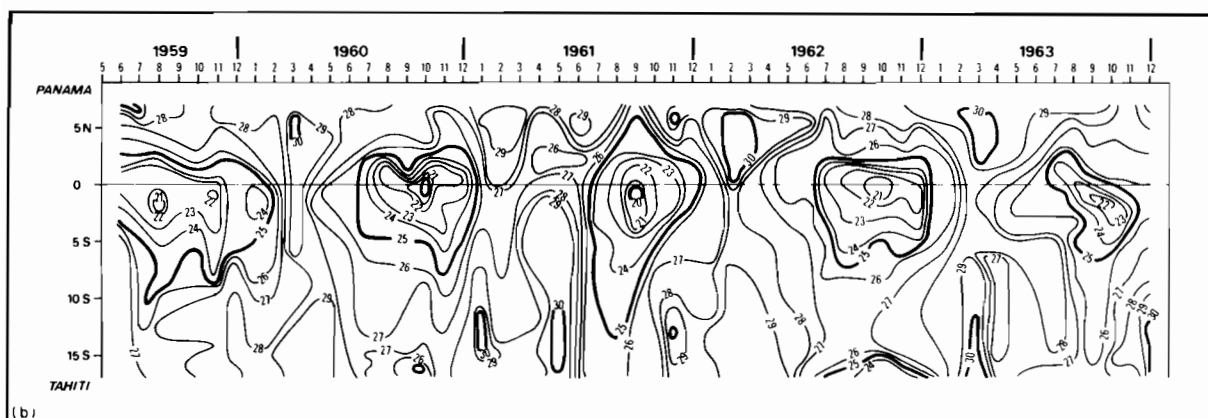
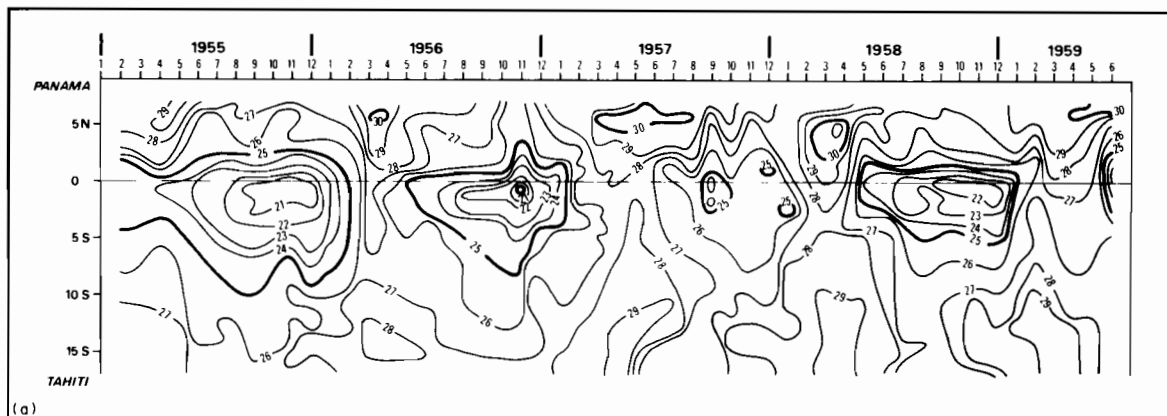
(2) Surface data from merchant ships systematically gathered between Tahiti and Panama by the Centre ORSTOM de Noumea starting in October 1974. They include meteorological data, surface temperature, and salinity. Unfortunately, no data are available from December 1973 to October 1974.

(3) Surface data (meteorological observations, temperature, and salinity) gathered since 1970 in the eastern Pacific by French naval vessels and merchant ships. The data are adequate, along with other data from data banks, to draw up quarterly charts for each year between 1970 and 1977.

Before 1974, sea surface temperatures were usually read to 0.5°C on thermometers in engine intakes at an approximate depth of 5 m. Seawater samples gathered simultaneously were kept in sealed bottles with salinities determined later with an inductive salinometer. Since 1974, surface temperatures and salinities have been obtained from bucket samples.

---

\* Centre ORSTOM de Noumea, B.P. A5, Noumea, Nouvelle-Calédonie, France.



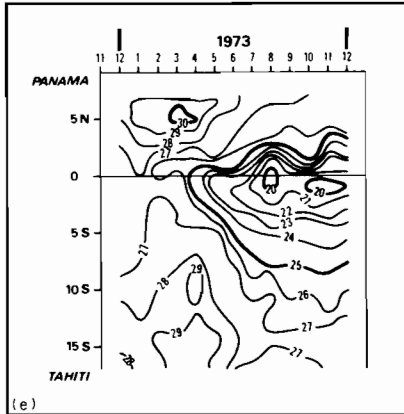
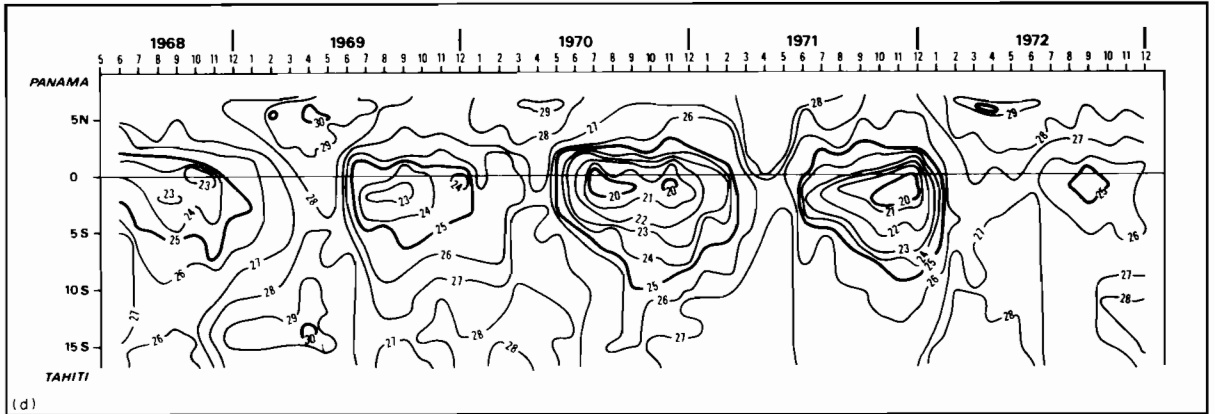
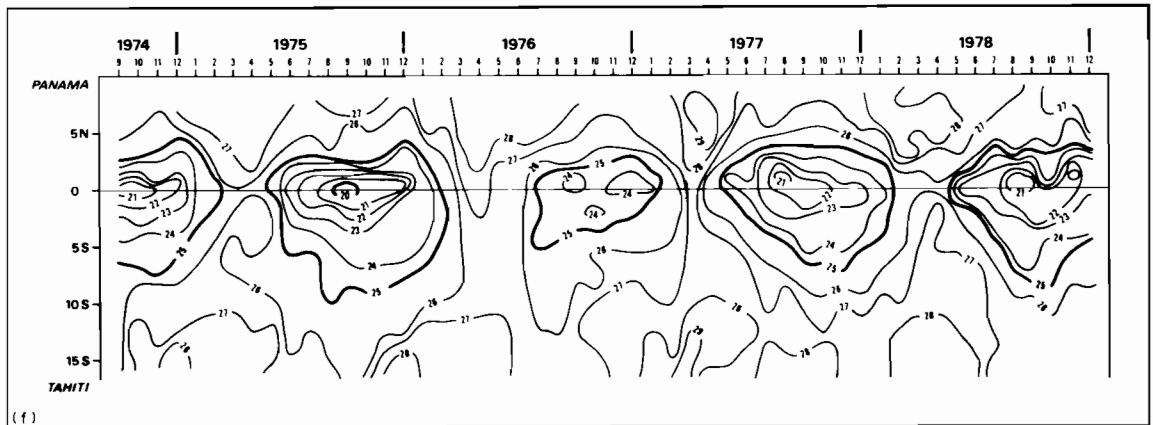


Fig. 1. Surface temperature, in degree Celsius, along the track between Tahiti and Panama, 1955-1978.





Before 1974, one observation was made every 6 h, i.e., about every 90 nautical miles, but after 1974 only one about every 120 nautical miles. Before 1965 there was one voyage per month, but since then at least two have been available each month after 1965. For each time series, the data have been averaged by latitude and by month and plotted on space-time diagrams.

### *Surface temperature in the eastern Pacific*

1. *Seasonal variations.* A space-time diagram showing the 1955–1978 surface temperatures from Tahiti to Panama is shown in Fig. 1. The diagram emphasizes distinct seasonal variations. From January to June the surface water is warm; from July to December it is cold. A standard year has been drawn from the 1955–1973 temperatures (Fig. 2). From July to December, south of 10°S, the cold water is due to the southern winter. On the equator the cold water is due to the equatorial upwelling. From September to November the surface water is usually colder than 22°C between the equator and 2°S and in some years colder than 20°C (1956, 1960, 1961, 1970, 1971, 1973, 1975). From January to June, warm water south of 10°S is due to the southern summer and close to the equator it is due to the absence of equatorial upwelling; however, the temperature maximum at 5°N, also shown by the Eastropac Atlases in February–March 1967 and 1968 (LOVE, 1972, 1975), is difficult to explain. The conditions along the Tahiti–Panama track may be compared with those along the Samoa–Hawaii track (HIRES and MONTGOMERY, 1972). Due to the distance between the tracks (6000 km), the equatorial and the northern conditions are almost opposite: at 160°W the coldest upwelled water occurs in February, at

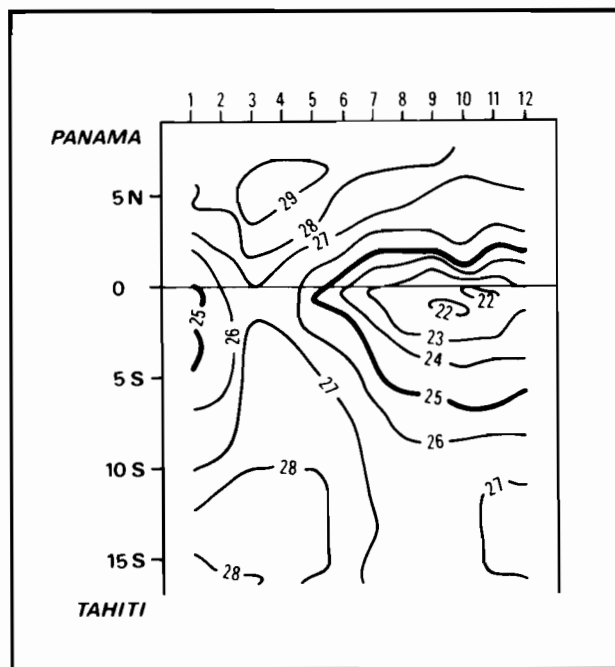


Fig. 2. Mean surface temperature, in degree Celsius, along the track between Tahiti and Panama.

100°W in October; at 160°W the warmest water occurs at 5°N in October, at 100°W in April; however, the influence of the south warm season occurs at the same time (March–June).

The space–time diagram describing the speed and direction of the wind (Fig. 3) according to ATKINSON and SADLER (1970) shows that on the equator from June to November the wind has an easterly component and a speed between 10 and 15 knots (1 knot = 1.853 km h<sup>-1</sup>). From December to May it also has an easterly component but a speed of less than 10 knots. Thus, the equatorial upwelling is probably induced by easterly winds whose speed is the determining cause, the shift of the cold water towards the south being explained by advection from the South American coast and also by the influence of the southerly component of the wind (CROMWELL, 1953). On Fig. 3 the convergence zone of the winds is shown by the area north of 5°N with a speed less than 5 knots.

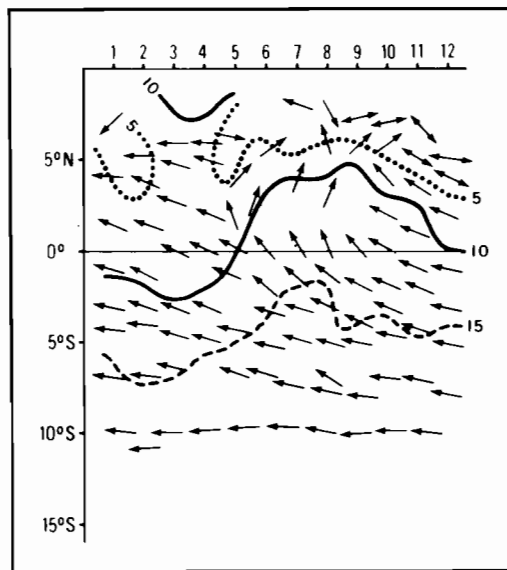
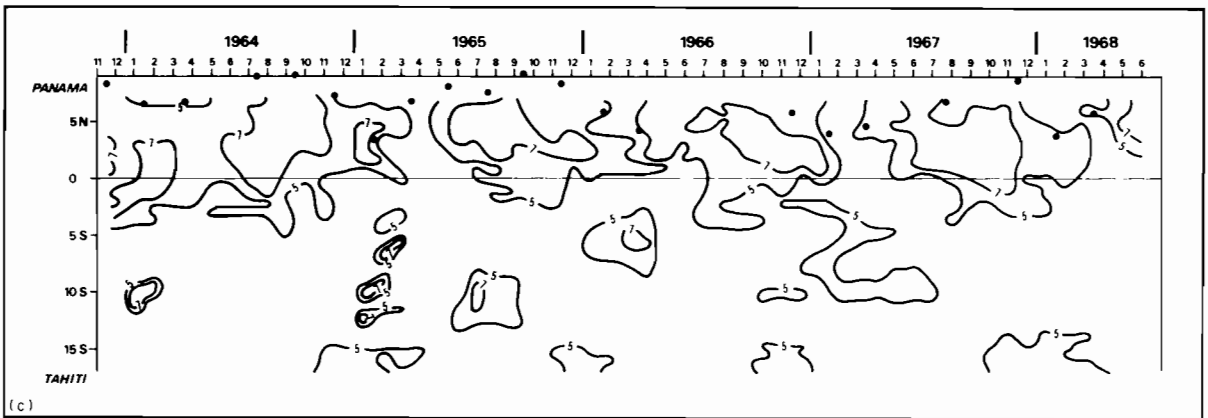
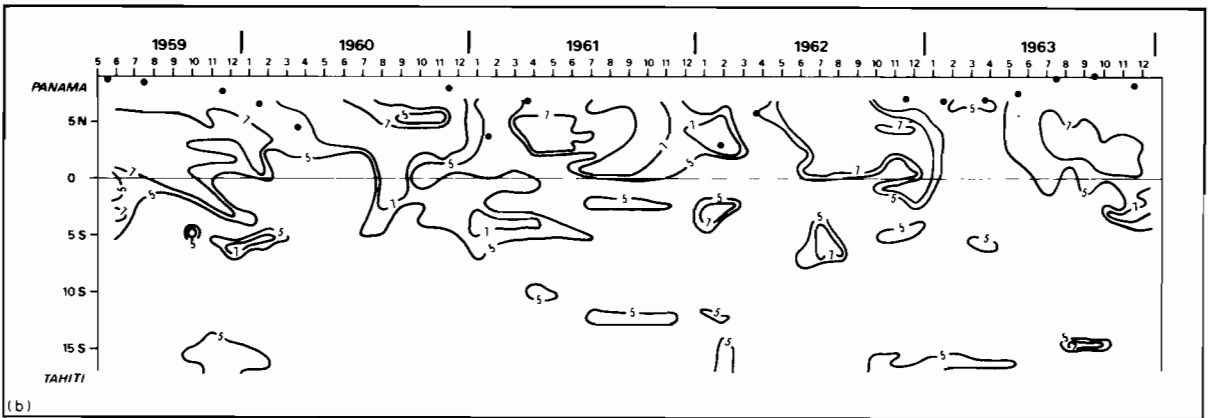
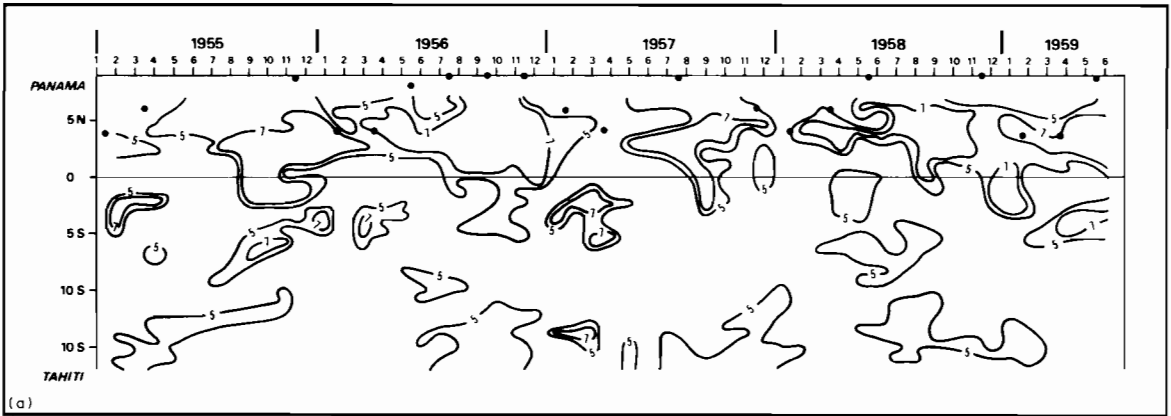


Fig. 3. Mean speed and direction of the wind, along the track between Tahiti and Panama. The speed is indicated in knots and the direction is marked by arrows.

The 1955–1973 series on cloud cover in oktas as observed by the ships is represented on a space–time diagram (Fig. 4). The series and the average of the data are shown in the same kind of diagram (Fig. 5), in which distinct seasonal variations are apparent. North of the equator, extensive cloud cover (more than 6 oktas) occurs from May to February with a maximum (7 oktas) from July to November when the influence reaches 3°S latitude. From 7°N to 3°S between February and May the cloud cover is less, with a minimum at the equator (less than 4 oktas). In the southern hemisphere, maximum cloud cover (more than 4 oktas) occurs from January to May between 2 and 6°S. All these features agree with the charts of ATKINSON and SADLER (1970).

It is possible to compare the observations with the 1965–1973 series of cloud cover observations from satellites along the same track (SADLER, UDA and KILONSKY, 1976) (Fig. 6). The general features are the same: extensive cloud cover north of the equator with



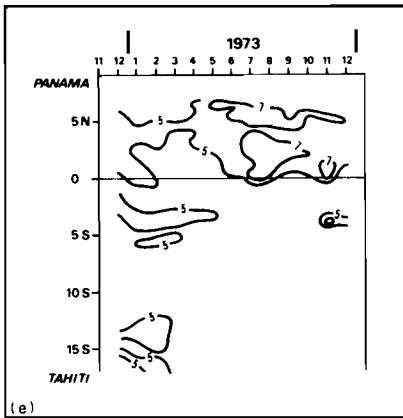
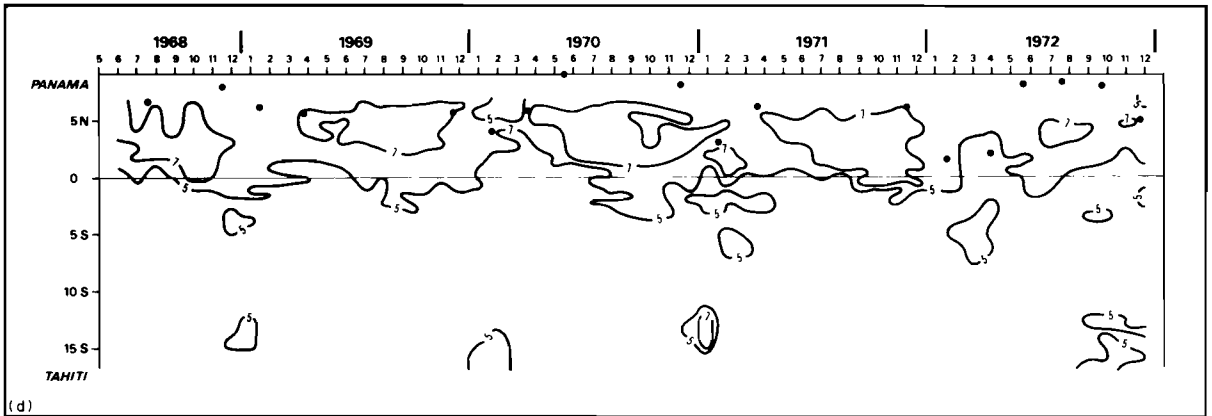


Fig. 4. Cloud cover observed by ships, in oktas, along the track between Tahiti and Panama, 1955–1973. The bimonthly position of the intertropical convergence zone of the winds is marked by a point.

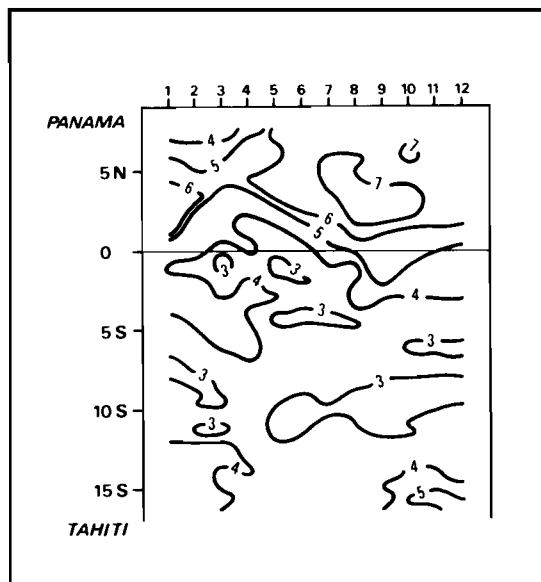


Fig. 5. Mean cloud cover, in oktas, along the track between Tahiti and Panama.

a maximum from June to November, less cloud cover south of the equator with, however, a maximum from February to May. On the other hand, the values differ: for example, the maximum cloud cover observed from satellites is 5 to 6 oktas north of the equator instead of the 7 oktas observed from ships.

In summary, from comparing the mean sea surface temperature (Fig. 2), the speed and direction of the wind (Fig. 3), and the cloud cover (Fig. 5), the following features are evident:

- (1) From June to December equatorial upwelling is induced by southeast winds with a speed of more than 10 knots. The upwelling is associated with cloud covers of more than 4 oktas.
- (2) From January to May the weakness of the east wind results in the cessation of equatorial upwelling. At this time the cloud over the equator is less than 4 oktas but from 2 to 5°S it is more than 4 oktas.

Equatorial upwelling is usually associated with extensive cloud cover at its northern boundary. The position of the intertropical convergence zone of the winds (Fig. 4), estimated from WYRTKI and MEYERS (1975) by considering the minimum of the wind speed and the convergence of the streamlines, is always north of the cloud zone. It also appears that on the equator the sea surface temperature maximum usually occurs between February and May, when equatorial upwelling subsides because of the wind speed minimum. The temperature maximum coincides with an equatorial cloud cover minimum (Fig. 5), in accordance with the cloud-coverage charts from ATKINSON and SADLER (1970). The feature is in contradiction with the BJERKNES (1966, 1969) hypothesis that high sea-surface temperature enhances convection and increases cloudiness. However, RAMAGE (1977), after studying hydroclimatic conditions at Canton Island (2°49'S, 171°43'W) during the 1972–1973 El Niño period, also disagreed with the BJERKNES hypothesis.

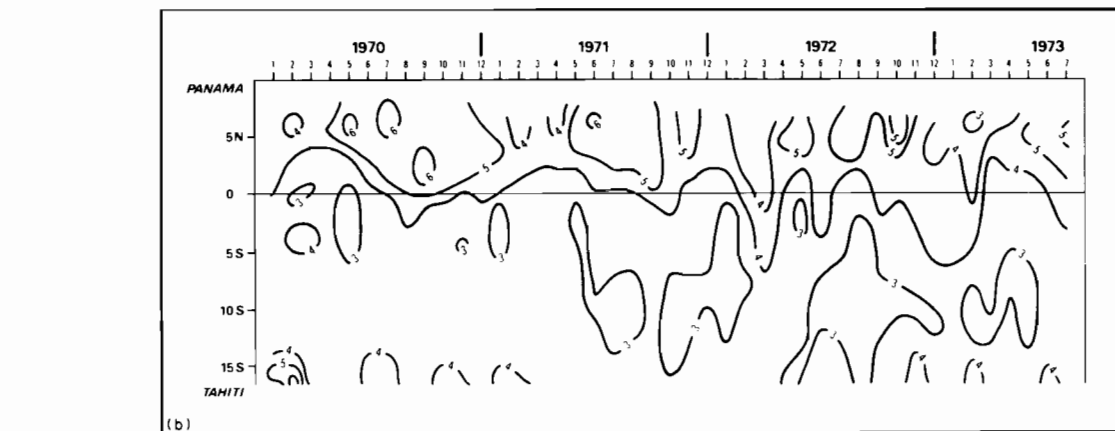
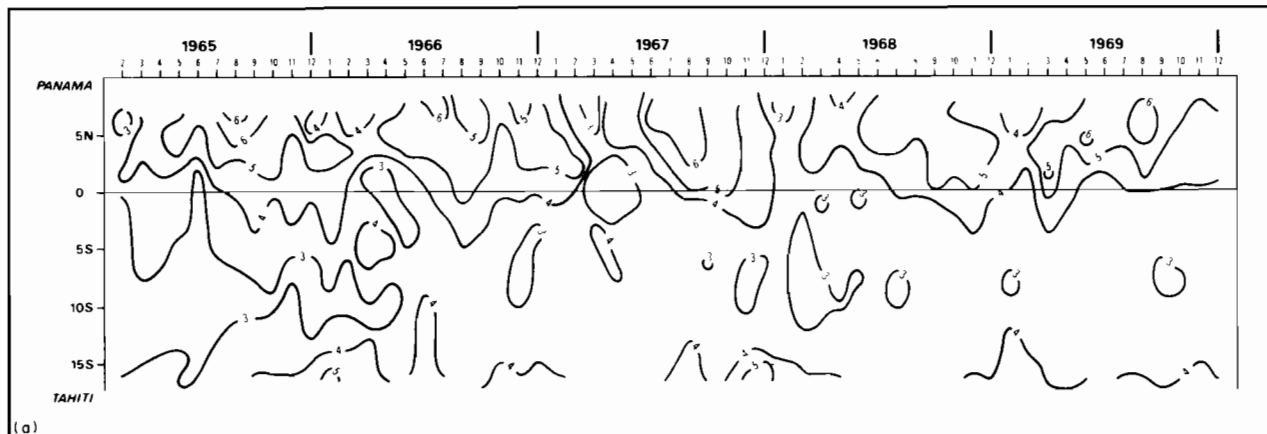


Fig. 6. Cloud cover, observed from satellites, in oktas, along the track between Tahiti and Panama, 1965–1973.

On the other hand, there is a question about the location of the convergence zone of the wind between February and May. According to ATKINSON and SADLER (1970) the zone at this time is east of  $95^{\circ}\text{W}$ , i.e., east of the ship track. According to WYRTKI and MEYERS (1975), the feature is at its southernmost location but always in the northern hemisphere (Fig. 4). In the reverse, during this period, a cloud zone exists between  $1$  and  $5^{\circ}\text{S}$  (Fig. 5). Consequently one may hypothesize two convergence zones, one in each hemisphere, the southern one associated with extensive cloud cover. The cloudiness would cause heavy precipitation south of the equator; at Puerto Baquerizo (Galapagos Islands,  $00^{\circ}54'\text{S}$ ,  $89^{\circ}37'\text{W}$ ), the maximum rainfall (Fig. 7) occurs in February and March. TAYLOR (1973), considering rainfall data, and WYRTKI and MEYERS (1976) also suggest this relationship.

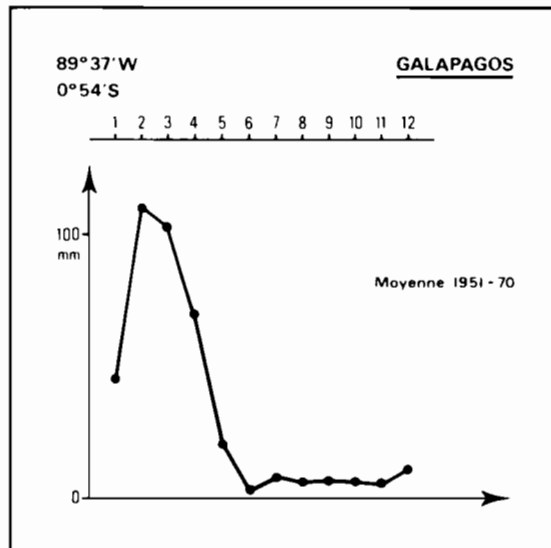


Fig. 7. Rainfall, in millimeters, at Puerto Baquerizo (Galapagos Islands,  $00^{\circ}54'\text{S}$ ,  $89^{\circ}37'\text{W}$ ).

2. *Year-to-year variations.* The 1955 to 1978 series of surface temperatures (Fig. 1) shows not only seasonal variations but also year-to-year variations of the equatorial upwelling intensity. Upwelling intensity may be characterized on the space-time diagram by the recorded temperature, by the duration, and by the latitude extremes. The parameters can be measured by estimating the area enclosed by an isotherm.

In Fig. 1, the area with temperatures less than  $24^{\circ}\text{C}$  is maximal in 1955, 1967, 1970, 1973, 1975 (Fig. 8), years when the equatorial upwelling was strong; the Eastropac expeditions emphasized the 1967 maximum. The area is minimal in 1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, and decreases to zero in 1957, 1965, and 1972. The last three years were marked by major El Niño phenomena, whereas in 1963, 1969, and 1976, weak upwelling and minor El Niño events were observed.

As with the surface temperatures, the area inside lines of equal cloud cover appears to be a significant parameter. In Fig. 4, the area with cloud covers of more than 7 oktas (Fig. 8) north of the equator is also minimal in 1957, 1963, 1965, 1969, and 1972, years

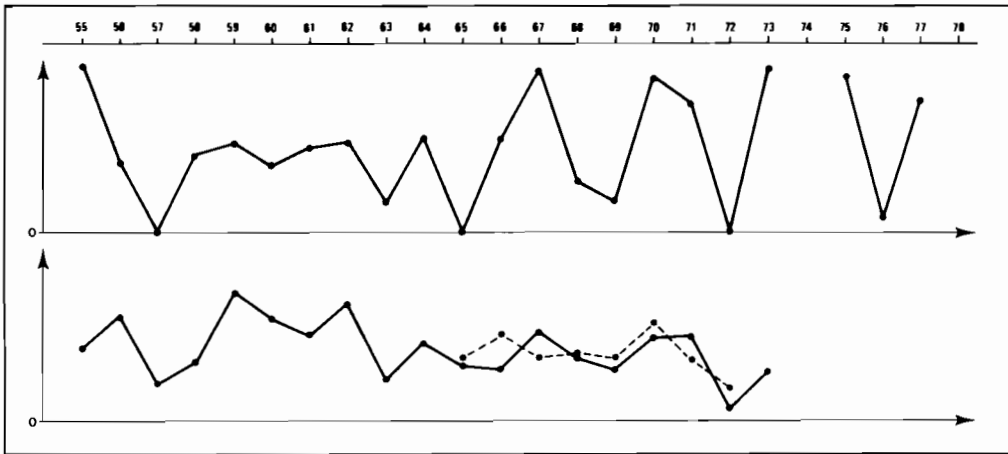


Fig. 8. In the upper part, area included within the 24°C isotherm. In the lower part, the points mark the surface bounding the cloudiness of more than 7 oktas observed from ships. The stars mark the surface bounding the cloudiness of more than 5 oktas observed from satellites. In ordinate any scale may be used.

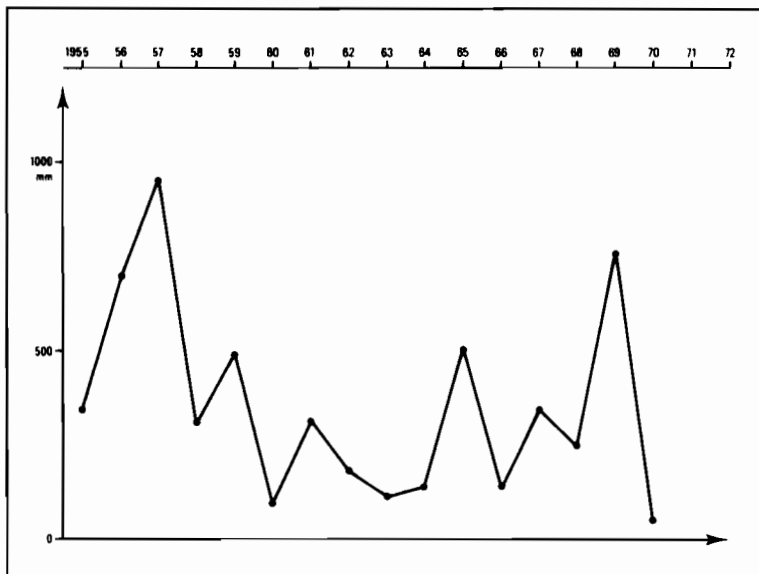


Fig. 9. Annual rainfall in millimeters at Puerto Baquerizo, 1955–1970.

characterized by El Niño phenomena. The 1965–1973 series of satellite observations shows the same trend.

In the case of El Niño, the cooling induced by equatorial upwelling is minimum and, on the equator, the sea surface temperature is maximal and cloud cover in the northern hemisphere is also minimal (Fig. 8). This feature confirms that high sea surface temperature is related on the equator to low cloud cover, in contradiction to BJERKNES (1966, 1969).



However, during El Niño events, mainly from March to May, cloud zones are evident south of the equator (Figs 4, 6) as in 1957, 1965, and 1972. This feature would support the hypothesis of the simultaneous presence of northern and southern convergence zones, the latter bringing rainfall; at Puerto Baquerizo precipitations were maximal in 1957, 1965, and 1969 (Fig. 9).

#### *Surface salinity in the eastern Pacific*

Since 1974 surface salinity has been observed by merchant ships between Tahiti and Panama. The series is 4 yr long with a good density of measurements (average of 3 voyages per month). The data are shown in a space-time diagram (Fig. 10) including the whole series and as the monthly average of all data (Fig. 11).

Surface conditions in the northern and southern hemispheres are very different. North of the equator, the surface salinity is usually less than 35.0‰ and even less than 34.0‰ north of 3°N. South of the equator, the surface salinity is usually more than 35.0‰ and even more than 36.0‰ south of 13°S.

Seasonal variations are also evident. Along the track from January to June, i.e., times of no equatorial upwelling, the salinity is minimal. From July to December, i.e., during equatorial upwelling, the salinity is maximal. Without equatorial upwelling, low-salinity water appears south of the equator. Along the track of the ships, this water is on the equator in March, at 5°S in April, 7°S in June, and at 10°S in July. It is associated in the southern hemisphere with a cloud cover of more than 4 oktas. Although advection of northern water across the equator is possible, the feature might indicate that the low-salinity water is induced by rainfall. During equatorial upwelling the low-salinity water remains north of the equator because of the equatorial salinity front. According to the Eastropac Atlases the front is due to the contact of low-salinity water with high salinity upwelled water. Thus, the front is associated with the equatorial upwelling and is at its north side. South of the equator, the salinity is more than 35.0‰.

The year-to-year variability of the surface salinity is small; 1976, characterized by a weak El Niño, does not look very different from the other years. Indeed, the ships cross the equator at 100°W, west of the Galapagos Islands, whereas El Niño phenomena usually occur between the islands and the South American coast.

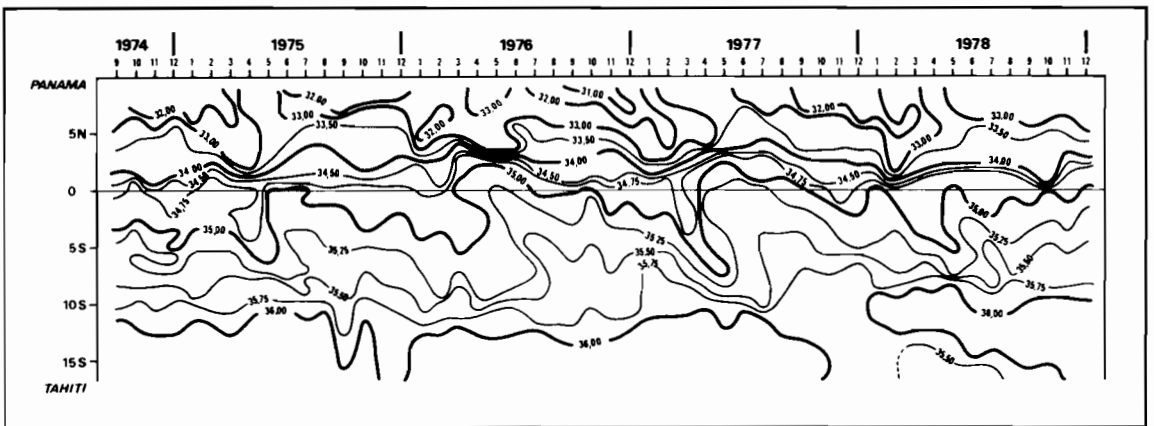


Fig. 10. Surface salinity (‰) along the track between Tahiti and Panama, 1974–1978.

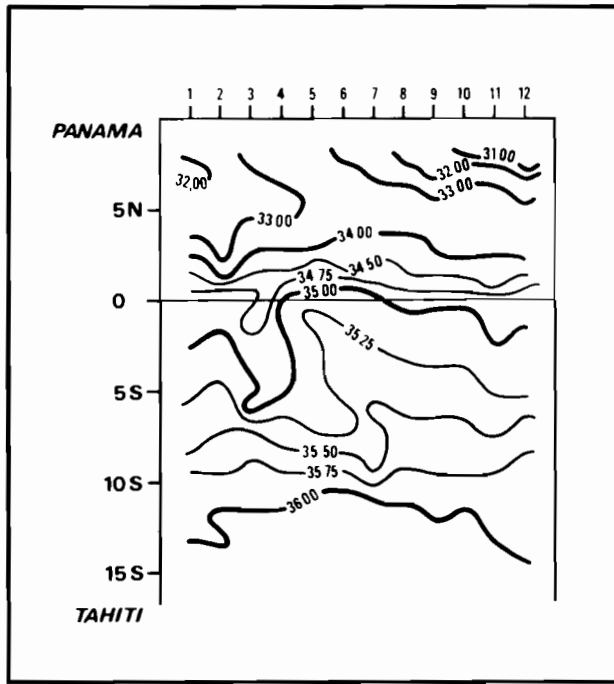


Fig. 11. Mean surface salinity (‰) along the track between Tahiti and Panama.

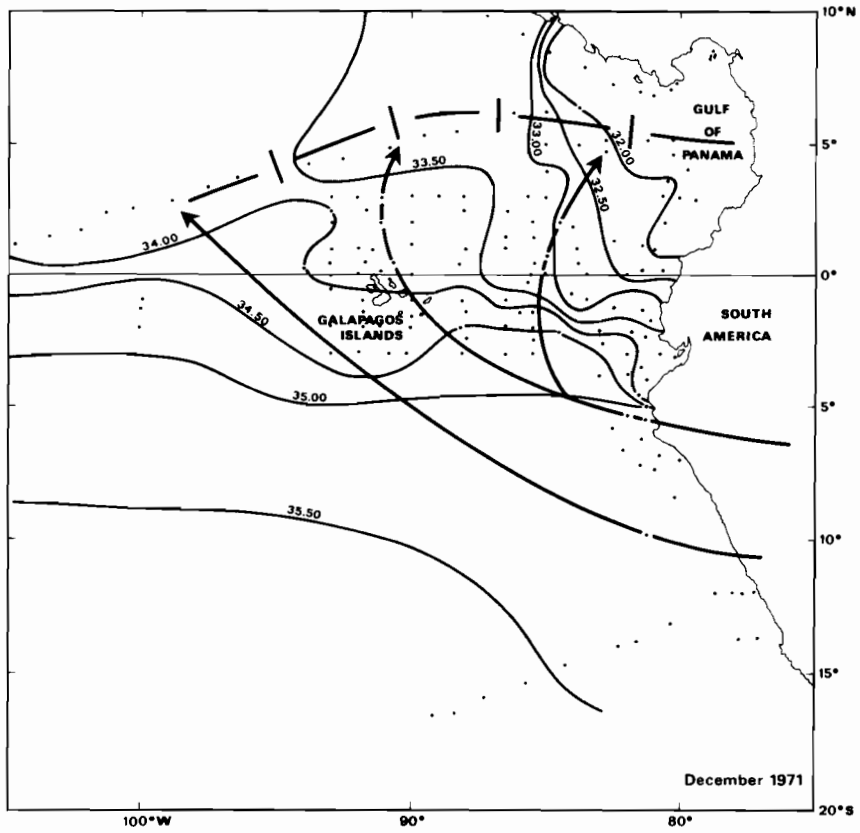
### Surface salinity during *El Niño*

The *El Niño* phenomenon has been studied in detail; WOOSTER and GUILLEN (1974) described the 1972 *El Niño*, with main consideration of the surface temperature. WYRTKI, STROUP, PATZERT, WILLIAMS and QUINN (1976) observed in 1975 the surface temperature and salinity spreading of a short-lived *El Niño*. QUINN (1977) and MILLER (1977) made meteorological and fisheries statements about the 1976 *El Niño*.

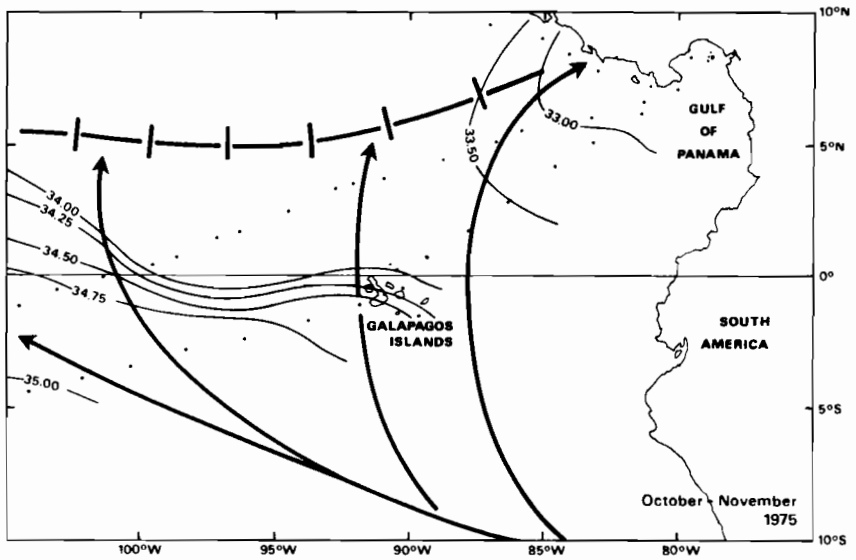
From 1970 to 1977 two *El Niño* events with economic consequences have occurred, a drastic one in 1972 and a weaker one in 1976. Both times it was possible to draw up surface salinity charts for the concerned area ( $10^{\circ}\text{N}$ – $10^{\circ}\text{S}$ ,  $75^{\circ}\text{W}$ – $105^{\circ}\text{W}$ ) before (November–December), during (February–March), and after (April–May) the *El Niño*. The wind data were obtained from ship observations or from the *Tropical Strip Surface Charts* (National Climatic Center, Asheville, N.C., U.S.A.).

Figure 12 shows the surface salinities observed during the latter part of 1971 (mainly December) and at the end of 1975 (October–November), just before the *El Niño* event. In 1971 and in 1975 the wind fields were similar: the intertropical convergence zone was at  $5^{\circ}\text{N}$ , south of its usual position ( $10^{\circ}\text{N}$ ) (ATKINSON and SADLER, 1970). South of the intertropical convergence zone, east of  $90^{\circ}\text{W}$ , the southeasterly winds were deflected to the southwest. The equatorial salinity front separated southern high-salinity waters from the northern low-salinity ones. In 1971 and 1975, the  $35.0\text{‰}$  isohaline lay at  $5^{\circ}\text{S}$  and the  $34.0\text{‰}$  isohaline at the equator. The water with salinity less than  $33.5\text{‰}$  was east of  $95^{\circ}\text{W}$ .

Figure 13 shows the surface salinity observed in February–March 1972 and in February–March 1976, *El Niño* years. In both cases the wind field was similar but in 1972 the

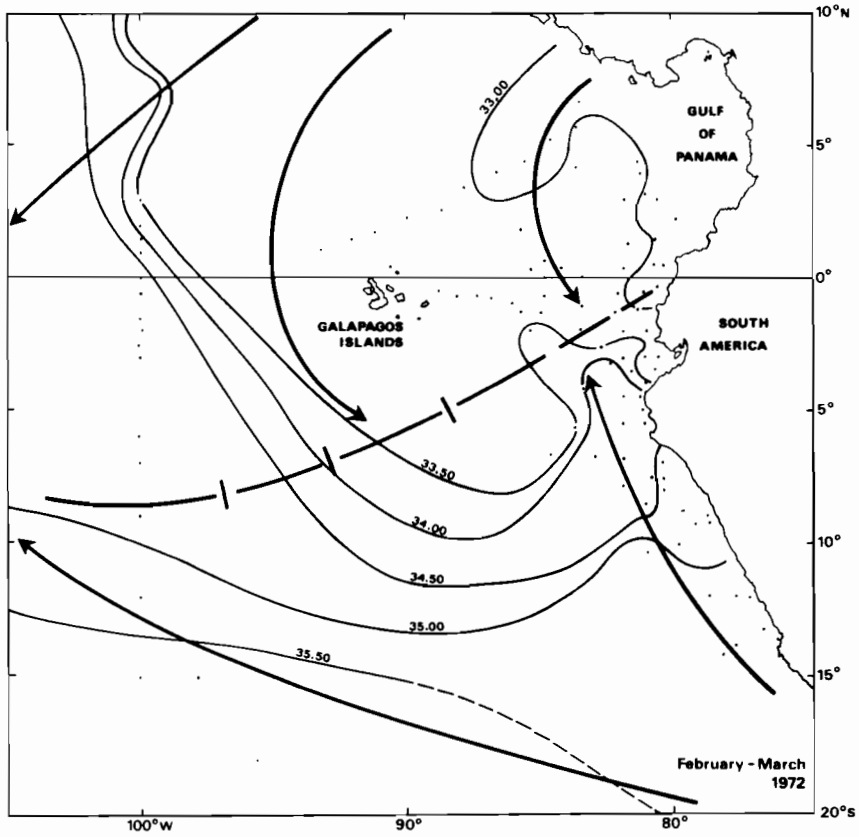


(a)

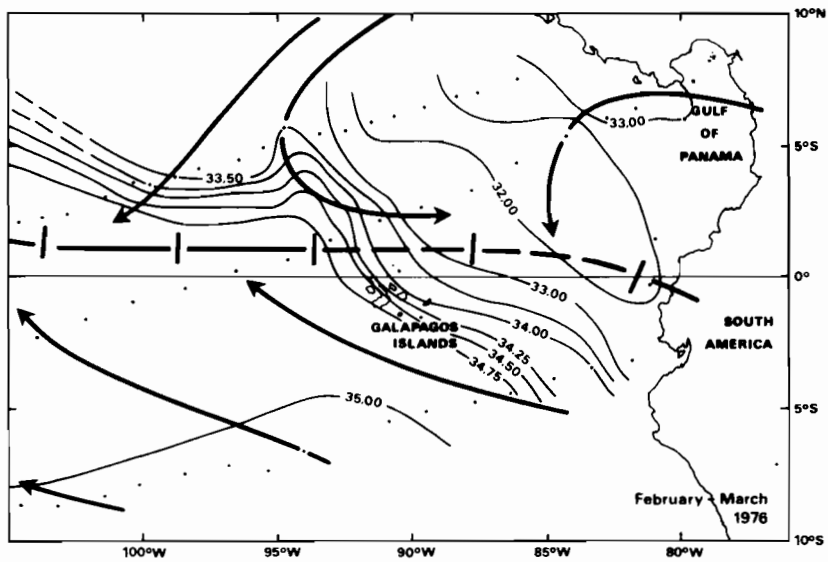


(b)

Fig. 12. Surface salinity (‰) in December 1971 and in October–November 1975 in the eastern equatorial Pacific.

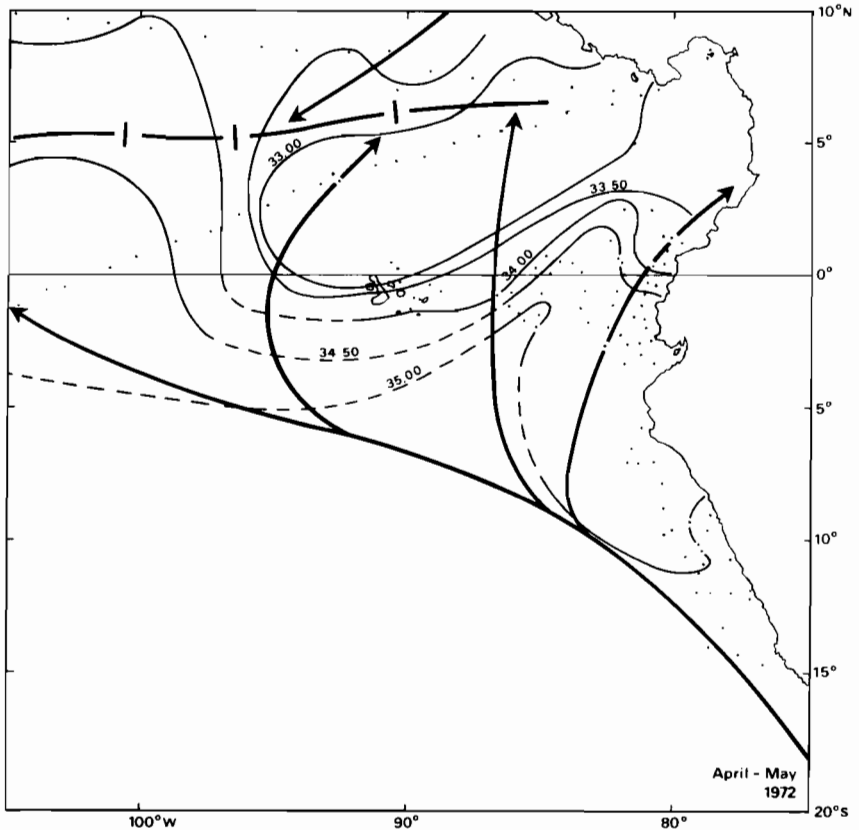


(a)

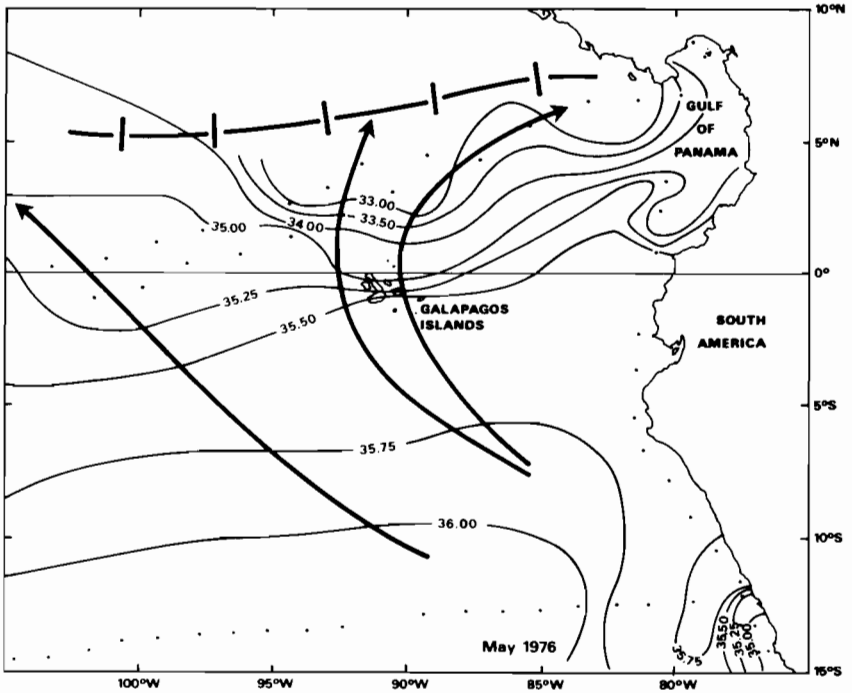


(b)

Fig. 13. Surface salinity (‰) in February–March 1972 and in February–March 1976 in the eastern equatorial Pacific.



(a)



(b)

Fig. 14. Surface salinity (‰) in April-May 1972 and in May 1976 in the eastern equatorial Pacific.

intertropical convergence zone was between the equator and  $10^{\circ}\text{S}$  and in 1976 at  $1^{\circ}\text{N}$ ; the presence of a convergence zone at  $10^{\circ}\text{S}$  in 1972 is consistent with the hypothesis that this is a double feature. South of the convergence zone, the winds were from the southeast. North of the convergence zone, northeasterly winds prevailed but east of  $95^{\circ}\text{W}$  they were deflected to the northwest. The west-component wind was not compatible with equatorial upwelling. The absence of upwelling allowed the low-salinity water to spread into the southern hemisphere and consequently the equatorial front disappeared. In 1972 the  $33.0\text{‰}$  isohaline reached nearly to  $8^{\circ}\text{S}$ ; in 1975 it reached nearly to  $5^{\circ}\text{S}$ , but the low-salinity water spread into a smaller area than in 1972.

Figure 14 shows the surface salinity observed in April–May 1972 and in May 1976, after the El Niño event. The same kind of wind fields occurred: the intertropical convergence zone lay at  $7^{\circ}\text{N}$ , a position close to the usual,  $10^{\circ}\text{N}$ . South of the convergence zone, a southeast wind prevailed, deflected to the southwest east of  $95^{\circ}\text{W}$  and north of the equator. West of  $95^{\circ}\text{W}$  the wind was favorable to equatorial upwelling; consequently, the equatorial front occurred there. A tongue of high-salinity water, due to coastal upwelling induced by the southeast wind, crossed the equator near  $80^{\circ}\text{W}$ . The low-salinity water ( $S < 33.5\text{‰}$ ) was north of the equator, mainly east of  $95^{\circ}\text{W}$ .

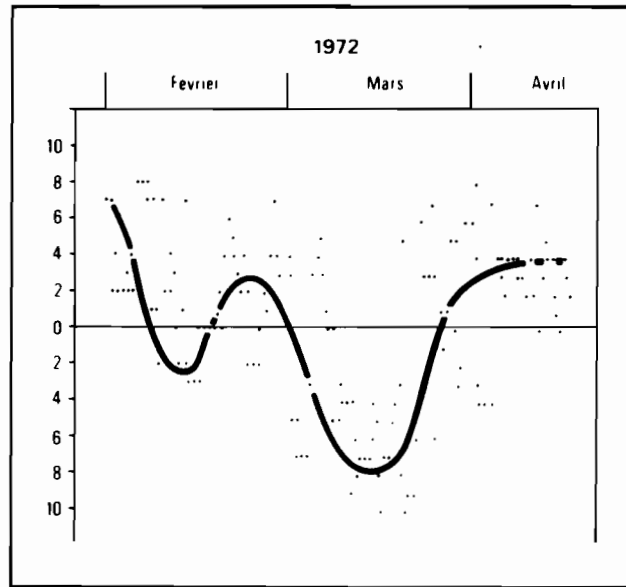
#### *Influence of the position of the intertropical convergence zone in the eastern equatorial Pacific*

In the case of the 1972 and 1976 El Niño events the spreading of the low-salinity water seems to be related to the position of the intertropical convergence zone: in November–December (Fig. 12), before the El Niño event, the intertropical convergence lay at  $5^{\circ}\text{N}$  and the core of the low-salinity water was at this latitude. In February–March (Fig. 13), during the El Niño event, the intertropical convergence zone lay close to the equator or just south of it and the low-salinity water spread across the equator and into the southern hemisphere. In April–May (Fig. 14), after the El Niño event, the intertropical convergence zone again lay in the northern hemisphere at  $7^{\circ}\text{N}$  and the low-salinity water again withdrew into the northern hemisphere.

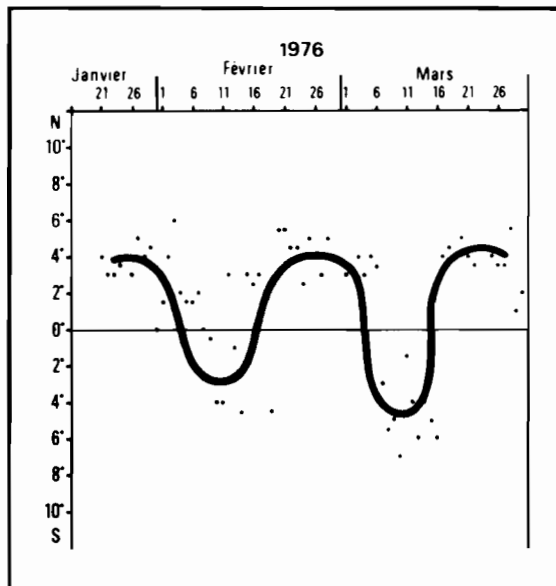
Before and after El Niño events the convergence zone is between  $5^{\circ}$  and  $10^{\circ}\text{N}$  and the wind field associated with it has two consequences: along the South American coast a southeast wind parallel to the shore induces coastal upwelling; along the equator, west of  $90^{\circ}\text{W}$ , the southeast wind induces equatorial upwelling.

During El Niño events, the convergence zone is south of its usual location. According to ATKINSON and SADLER (1970) in February it usually lies at  $10^{\circ}\text{N}$ . During Eastropac cruises, its position was around  $5^{\circ}\text{N}$ . Figure 15 shows the position of the convergence zone at  $90^{\circ}\text{W}$  from January to March in 1972 and 1976 according to the *Tropical Strip Surface Charts*. Its exceptional presence south of the equator is evident at  $2^{\circ}\text{S}$  in February 1972, at  $8^{\circ}\text{S}$  in March 1972, at  $3^{\circ}\text{S}$  in February 1976, and at  $5^{\circ}\text{S}$  in March 1976; in many cases the southern convergence zone coexists with a northern one. PATZERT (1978) showed the same feature in February–March 1975. The anomalous position of the convergence zone is associated with an anomalous wind field. South of  $5^{\circ}\text{S}$ , southeast winds prevail along the coast and induce the usual coastal upwelling. West of  $100^{\circ}\text{W}$ , northeast or southeast winds blow along the equator and induce the usual equatorial upwelling. But east of  $100^{\circ}\text{W}$  northwest winds prevail along the equator and equatorial upwelling ceases. The low-salinity water pushed by northwest winds then crosses the equator into the southern hemisphere.

The direct influence of the intertropical convergence zone on the formation of low-salinity water masses by precipitation is an important consideration. The convergence zone



(a)



(b)

Fig. 15. Position of the intertropical convergence zone of the winds in early 1972 and 1976 along 90°W.

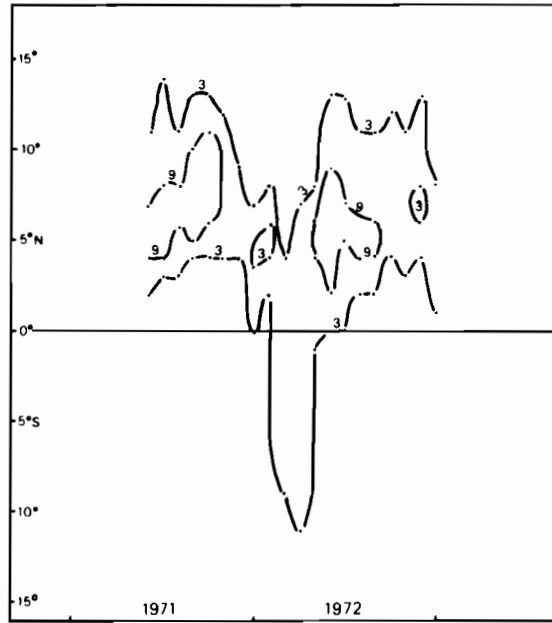


Fig. 16. 1971–1972 monthly frequencies of highly reflective clouds along 90°W.

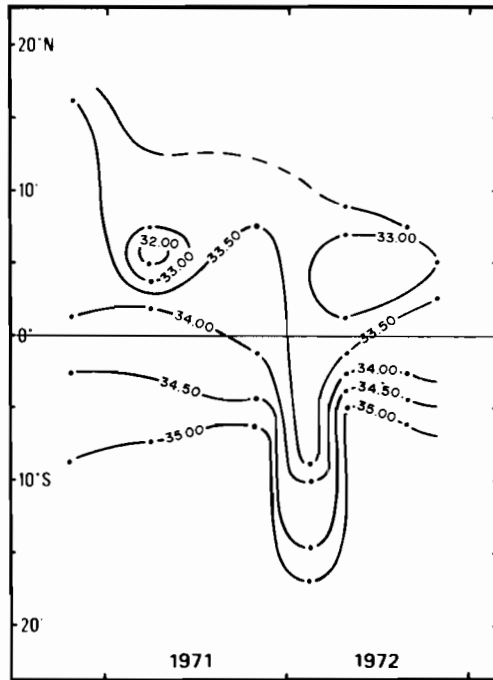


Fig. 17. 1971–1972 surface salinity (‰) along 90°W.



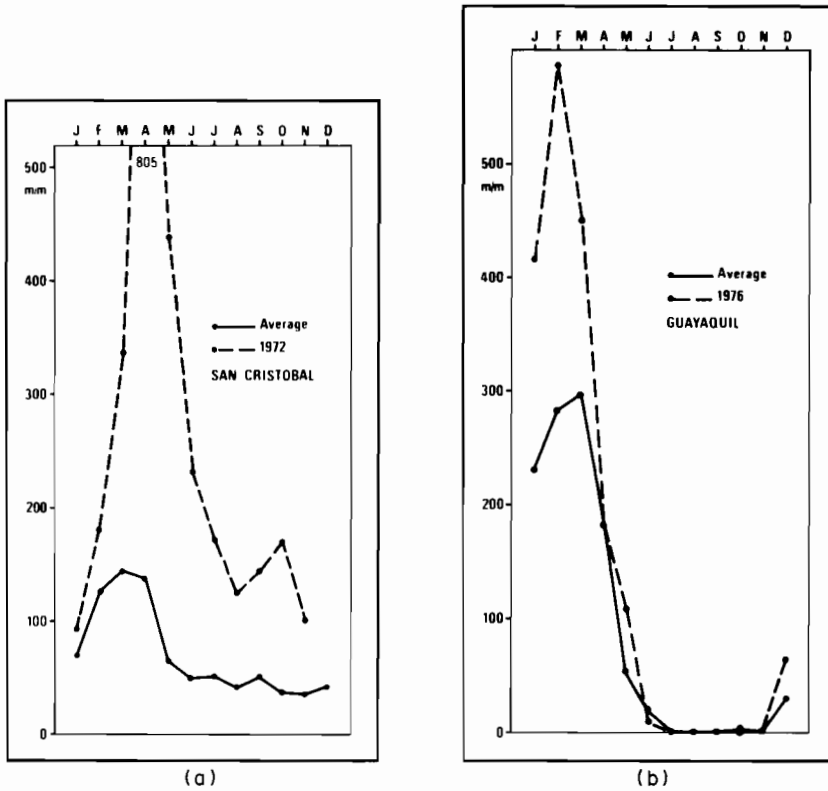


Fig. 18. Rainfall at San Cristobal (Galapagos Islands,  $00^{\circ}54'S$ ,  $89^{\circ}37'W$ ) and at Guayaquil ( $02^{\circ}09'S$ ,  $79^{\circ}53'W$ ).

is usually marked by nebulosity and heavy precipitations. From 1971 to 1974 charts of the frequency of highly reflective cloud cover, as observed by satellite over the Pacific Ocean, were drawn up by KILONSKY and RAMAGE (1976). Highly reflective clouds are generally associated with precipitation and correlations have been found between their frequency and rainfall. The 1971–1972 monthly frequencies along the  $90^{\circ}W$  meridian are shown in a distance–time diagram (Fig. 16). The 1971–1972 surface salinity along the  $90^{\circ}W$  meridian (Fig. 17), extracted from the 1970–1977 quarterly charts of the eastern tropical Pacific, is also plotted on a distance–time diagram to show the variation of the surface salinity from  $10^{\circ}N$  to  $20^{\circ}S$  during 3 yr. Figures 16 and 17 are similar. The low salinities are associated with highly reflective cloud frequencies, that is to say those with a strong probability of precipitation. Low salinities and highly reflective cloud frequencies usually occur between the equator and  $20^{\circ}N$ , except in the beginning of 1972, when they occurred as far south as  $10^{\circ}S$ . During that El Niño period the  $33.5\text{‰}$  isohaline reached  $10^{\circ}S$  and according to KILONSKY and RAMAGE (1976) the highly reflective cloud frequencies provided 200 mm rainfall per month, thereby maintaining the low salinity of the water coming from the northern hemisphere. This feature is consistent with the rainfall observations (Fig. 18) at San Cristobal (Galapagos Islands) ( $00^{\circ}54'S$ ,  $89^{\circ}37'W$ ) in 1972 and at Guayaquil ( $02^{\circ}09'S$ ,  $79^{\circ}53'W$ ) in 1976. At San Cristobal between February and June 1972 precipitation was far

above average. At Guayaquil between January and April 1976, precipitation was about twice the average.

Two mechanisms may be involved in the formation of the low-salinity water during El Niño: advection of northern water and dilution by local rainfall. The influence of each of the mechanisms can be estimated: according to DONGUY and HENIN (1976), one can compare the ratio of the observed surface salinity to the mean salinity with the ratio of the simultaneously observed rainfall to the mean observed rainfall. If the ratios are the same, the salinity variation would be due completely to the rainfall; if the salinity ratio is different, another mechanism would be involved. During the 1972 El Niño the salinity ratio at 5°S is twice the rainfall one.\* Consequently the salinity change would be due half to an advection across the equator of the northern low-salinity water, half to local formation from rainfall.

#### CONCLUSION

In the eastern equatorial Pacific Ocean, surface temperature and salinity features are usually associated with the position of the Intertropical Convergence Zone. The shifting of this zone to the south has an effect on surface conditions in two ways: it changes the wind field such that equatorial upwelling subsides and it produces low-salinity water by precipitation. The recent equipping of merchant ships with expendable bathythermographs (XBT) will improve our knowledge of these important features.

#### REFERENCES

- ATKINSON F. D. and J. C. SADLER (1970) Mean cloudiness and gradient level wind over the tropic. Air Weather Service, United States Air Force, 15 pp., 38 charts.
- BJERKNES J. (1966) A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, **18**, 820-829.
- BJERKNES J. (1969) Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, **97**, 163-172.

\* The calculation is based on the assumption that the salinity increases linearly from the surface to a depth  $d$ . The height of freshwater  $h$  that can induce the surface freshening is expressed by

$$h = \frac{1}{2}d \left( \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right),$$

where  $S_1$  is a constant salinity at the depth  $d$ ,  $S_2$  is either the observed surface salinity  $S_{obs}$  or the mean surface salinity  $S_{mean}$ . In the first case

$$h_{obs} = \frac{1}{2}d \frac{S_1 - S_{obs}}{S_1}.$$

In the second case

$$h_{mean} = \frac{1}{2}d \frac{S_1 - S_{mean}}{S_1}.$$

The ratio

$$R_s = \frac{h_{obs}}{h_{mean}} = \frac{S_1 - S_{obs}}{S_1 - S_{mean}}$$

can be compared with the ratio

$$R_p = \frac{\text{observed precipitation}}{\text{mean precipitation}}.$$

In the case of the 1972 El Niño,  $S_1 = 35.2\text{‰}$  (PATZERT, 1978),  $S_{obs} = 33.5\text{‰}$ ,  $S_{mean} = 35.0\text{‰}$  and consequently  $R_s = 8.5$ . During the time, the observed precipitation was 200 mm instead of a mean of 50 mm (TAYLOR, 1973) and consequently  $R_p = 4$ .

- CROMWELL T. (1953) Circulation in a meridional plane in the Central Equatorial Pacific. *Journal of Marine Research*, **12**, 196–213.
- DONGUY J. R. and C. HENIN (1976) Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'Océan Pacifique tropical sud-ouest basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973. *Annales Hydrographiques*, 5e série, **4**, 53–59.
- HIRES R. I. and R. B. MONTGOMERY (1972) Navifacial temperature and salinity along the track from Samoa to Hawaii, 1957–1965. *Journal of Marine Research*, **30**, 177–200.
- KILONSKY B. J. and C. S. RAMAGE (1976) A technique for estimating tropical open ocean rainfall from satellite observations. *Journal of Applied Meteorology*, **15**, 972–975.
- LOVE C. M. (1972) *Eastropac Atlas*, 1, U.S. Department of Commerce.
- LOVE C. M. (1975) *Eastropac Atlas*, 9, U.S. Department of Commerce.
- MILLER F. R. (1977) The El Niño of 1976–77 in the southeast Pacific. Proceeding of the 2nd Annual NOAA Climate Diagnostic Workshop. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla California, October 18–20, 1977.
- PATZERT W. (1978) El Niño watch atlas of physical, chemical and biological oceanographic and meteorological data. Scripps Institution of Oceanography, Reference Series Number 78–7, 24 pp., 322 figs.
- QUINN W. H. (1977) Diagnosis of the 1976–77 El Niño. Proceeding of the 2nd Annual NOAA Climate Diagnostic Workshop. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, October 18–20, 1977.
- RAMAGE C. S. (1977) Sea surface temperature and local weather. *Monthly Weather Review*, **105**, 540–544.
- SADLER J., L. UDA and B. J. KILONSKY (1976) Pacific Ocean cloudiness from satellite observations. Publication UHMET 76–01, Department of Meteorology, University of Hawaii, 137 pp.
- TAYLOR R. C. (1973) An atlas of Pacific islands rainfall. Data Report No. 25, HIG 73–9, University of Hawaii, 165 pp, 13 figs. (Unpublished document.)
- WOOSTER W. S. and O. GUILLEN (1974) Characteristics of El Niño in 1972. *Journal of Marine Research*, **32**, 387–403.
- WYRTKI K. and G. MEYERS (1975) The trade wind field over the Pacific Ocean. Part 2 Bimonthly fields of wind stress: 1950 to 1972. Publication HIG 75–2, University of Hawaii, 16 pp, 138 figs. (Unpublished document.)
- WYRTKI K. and G. MEYERS (1976) The trade wind field over the Pacific Ocean. *Journal of Applied Meteorology*, **15**, 698–704.
- WYRTKI K., E. STROUP, W. PATZERT, R. WILLIAMS and W. QUINN (1976) Predicting and observing El Niño. *Science* **191**, 343–346.



## **Heat content changes within the mixed layer of the Equatorial Pacific Ocean**

by **Christian Henin<sup>1</sup>** and **Jean-René Donguy<sup>1</sup>**

### **ABSTRACT**

Under usual conditions, the Western Equatorial Pacific is characterized by a low heat content on the equator and a maximum one west of 170E. After the appearance of El Nino, this maximum is replaced by another one located in the Central South Pacific; this feature has been observed in 1972-73 but also in 1957-58 and 1976-77. The mechanism involves probable change of the mixed layer depth.

### **1. Introduction**

The heat content of the ocean upper layer has received considerable attention in recent years, due to its importance in the ocean atmosphere exchanges, and mainly in tropical and equatorial areas, where high sea-surface temperatures occur. It seems also that the Pacific Ocean, due to its size (180° of longitude at the equator) is the heat tank of the planet; in the Western and Central Pacific, the sea-surface temperature is high, the upper homogeneous layer is deep and the exchanges across the sea-surface are well developed.

### **2. Distribution of the heat content in the Tropical South Pacific**

The South Pacific Ocean is characterized by a strong variability of the hydroclimatic conditions (Donguy and Henin, 1978a). Therefore, the consideration of the mean conditions is not realistic and it is necessary to have enough data in a limited period of time for a good description of the hydroclimatic conditions.

The studied area is bounded by 150E longitude in the west, by 130W longitude in the east, by 10N in the north and by 20S in the south. The usual hydroclimatic conditions are characterized by the occurrence of the equatorial upwelling induced by an east component of the wind (trade wind) (Donguy and Henin, 1978b). Along the equator, the isotherms rise to the surface and the surface temperature is lower than on each side of the equator. Consequently, the heat content is also lower on

1. Centre Orstom de Noumea, B.P. A5 NOUMEA, Nouvelle-Calédonie.

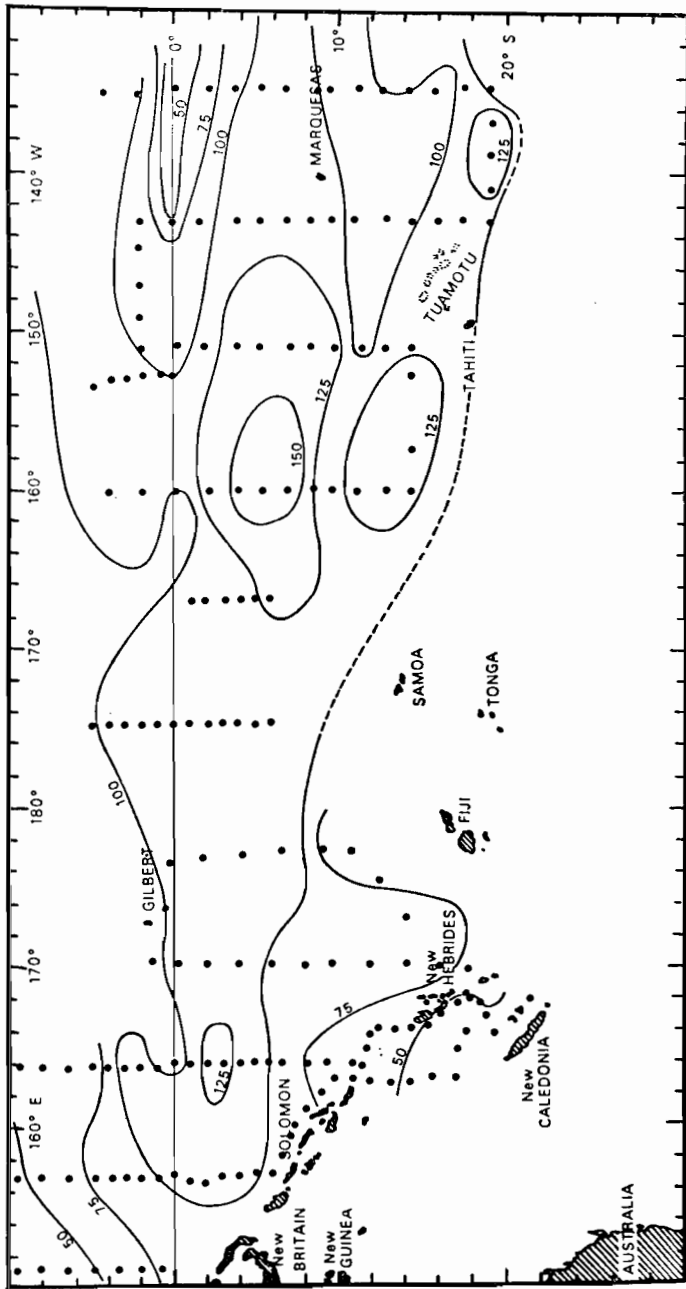


Figure 1. Depth of the mixed layer in meters, August-September 1956.

the equator than on each side. The equatorial upwelling has seasonal variations: its intensity is minimum during the north west monsoon (austral warm season, November-March) and maximum during the trade wind period (austral cold season, June-September).

Only the heat content of the shallower hundred meters is considered and the unit used is the averaged temperature from the surface to the 100 meter depth. This choice may seem questionable inside an area extending from 150E to 140W. However, from the NODC files, it is possible to describe a situation of typical austral winter (Equapac Expedition, August-September 1956) and a situation just prior to a typical austral summer (October-December 1961). Figures 1 and 2 show the depth of the mixed layers during these two periods. In the whole area from 10S to 5N this depth is mostly close to 100 meters except in a zone located in the Central Pacific where it is more than 125 meters, at 160W in 1956, at 170W in 1961.

With the Equapac Expedition data (August-September 1956) Figure 3 describes the heat distribution during a typical austral winter and shows a minimum of heat content along the equator as far westward as 170E. West of this longitude, between 6N and 12S, the heat content is over 28 units with a maximum over 29 units at 3N. The data gathered between October and December 1961 (Fig. 4) just before the austral warm season, also show an equatorial minimum of heat content; west of 177E, the heat content is over 28 units with a maximum over 29 units, wider than during the austral winter.

In usual hydroclimatic conditions, during an equatorial upwelling period, a high heat content is stored west of 180° between 5N and 15S; this heat pool is divided by the equatorial upwelling into two branches. The northern part spreads eastward transported by the North Equatorial Counter-Current and the southern part also spreads eastward transported by the South Equatorial Counter-Current.

### 3. Evolution of the heat content in the Western Pacific

The series of oceanographic measurements are scarce in the Pacific Ocean. However, in the westernmost part of the Pacific, data issued from monitoring carried out every year by R.V. *Ryofu Maru* along 137E north of New Guinea may be taken into consideration. According to Masuzawa and Nagasaka (1975) in this area, "the surface mixed warm water over the thermocline is as thick as 100 m or so". Consequently the heat content of the shallower hundred meters only is considered. Figure 5 shows the data as a space time diagram from 1967 to 1977. Along 137E, from the equator to 5N, the heat content from the surface to 100 meters depth is usually high, between 27 and 29 units. However, in late 1972 and early 1973, the heat content became very low, reaching less than 26 units as already pointed out by Masuzawa and Nagasaka (1975). This feature was also

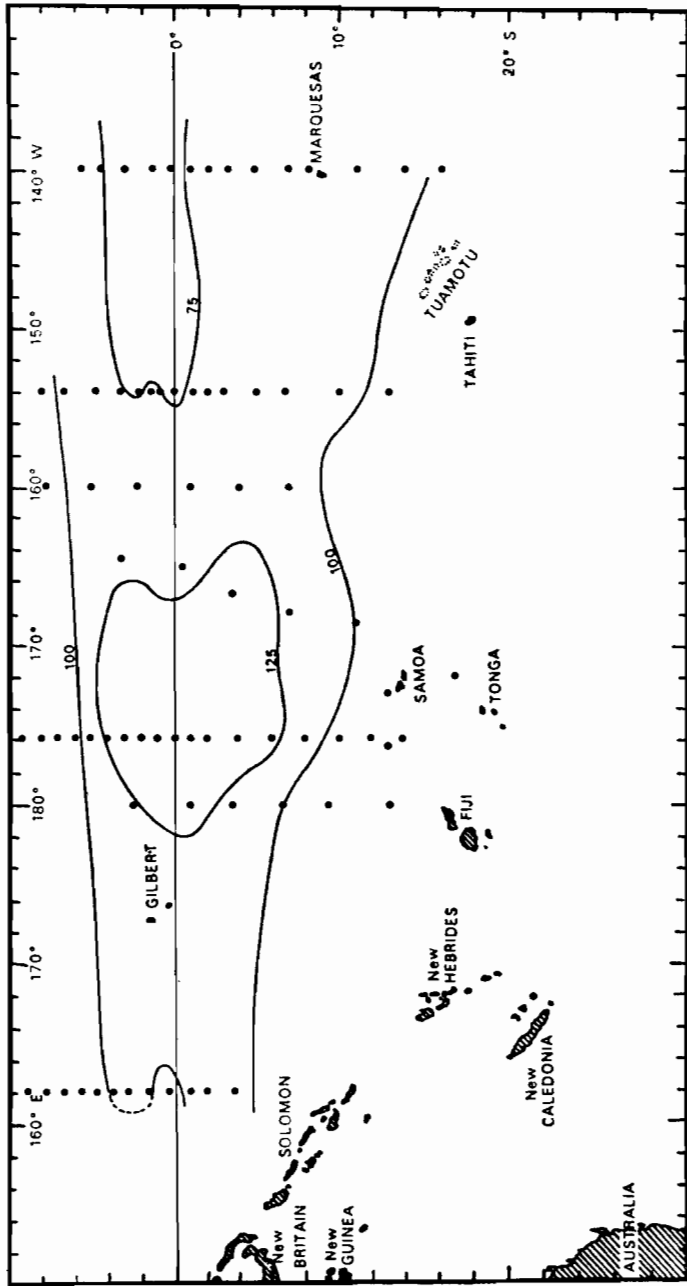


Figure 2. Depth of the mixed layer in meters, October-December 1961.



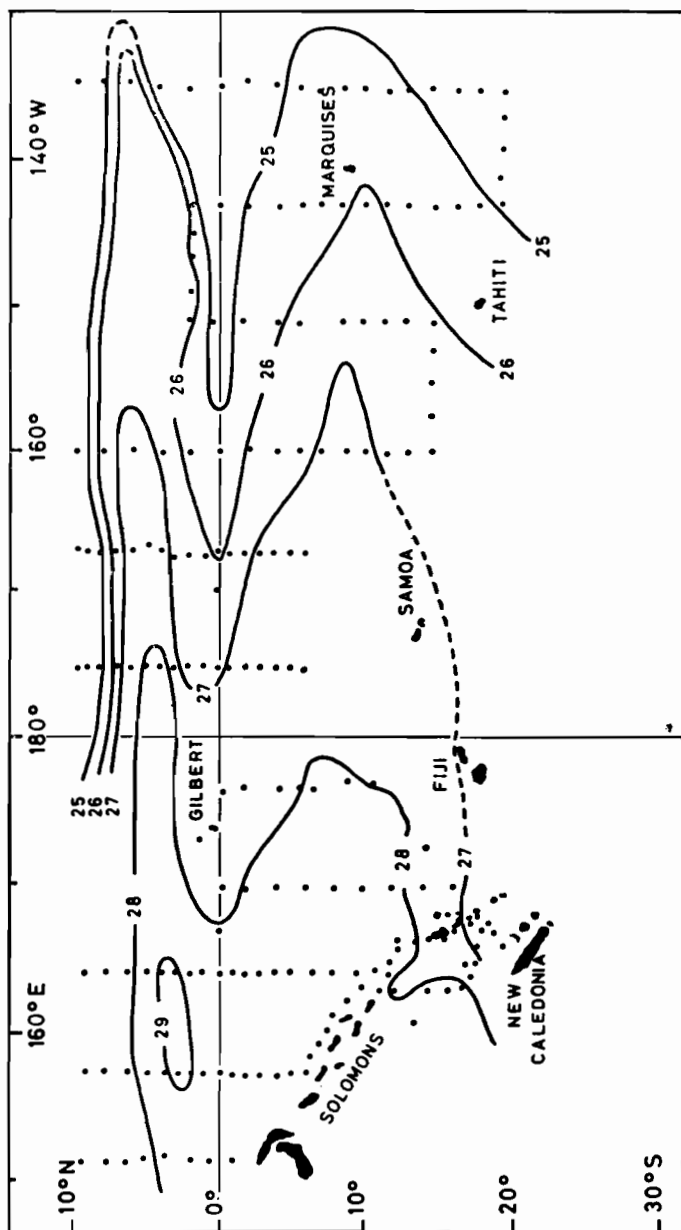


Figure 3. Heat content from the surface to 100 meters depth, August-September 1956. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

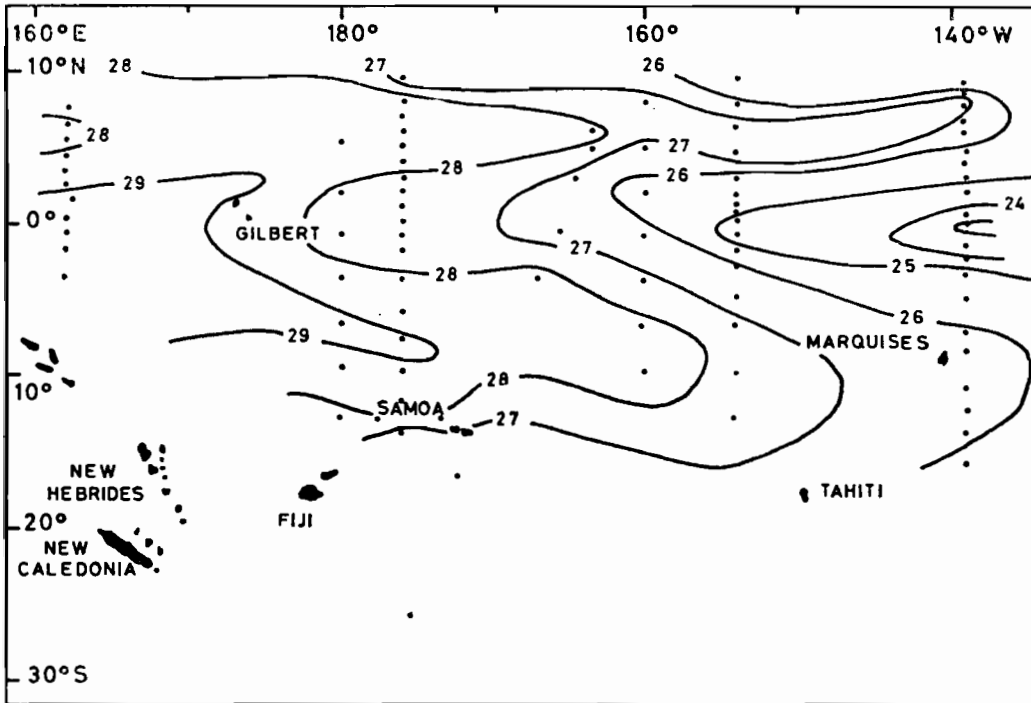


Figure 4. Heat content from the surface to 100 meters depth October-December 1961. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

observed by White and Wylie (1977) with all the BT data covering an area extending from 130E to 180° and from the equator to 35N. During late 1972 and early 1973 at 100 meters depth, the temperature was 1°C lower than usual (Fig. 6) south of 20N with an extreme negative anomaly of 2°C in the vicinity of 10N.

This anomaly of the heat content is to be connected to the abnormal surface conditions observed in the Western Pacific in 1972-1973 (Donguy and Henin, 1976) and also to exceptional meteorological conditions. It seems that these latter had appeared after the occurrence of the 1972 El Nino event (Donguy and Henin, 1978c). The question now is to know if this heat shortage is compensated by an extra heat content located elsewhere.

#### 4. Evolution of the heat content in the Central Pacific

All existing XBT from the NORPAX data bank have been used to establish a space time diagram approximately from Hawaii to Tahiti along a route crossing the equator in the vicinity of 155W, between 1968 and 1975 (Fig. 7). This diagram describes the heat content from the surface to the 100 meter depth. Usually, the equatorial area is characterized by a low heat content (less than 27 units) with

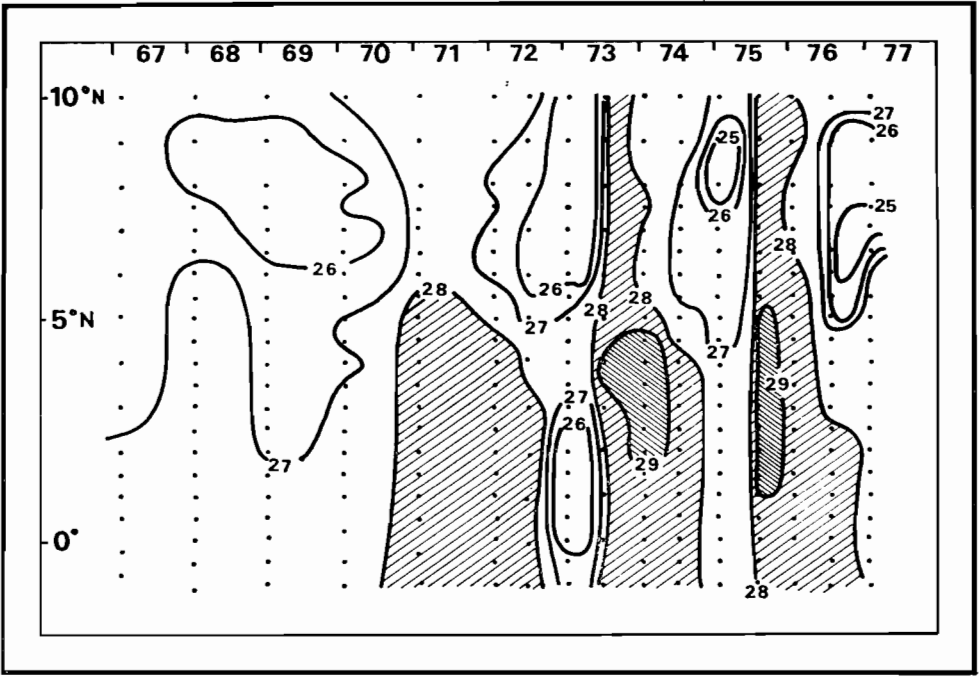


Figure 5. Heat content from the surface to 100 meters depth along the 137E meridian north of New Guinea, 1967-1977. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

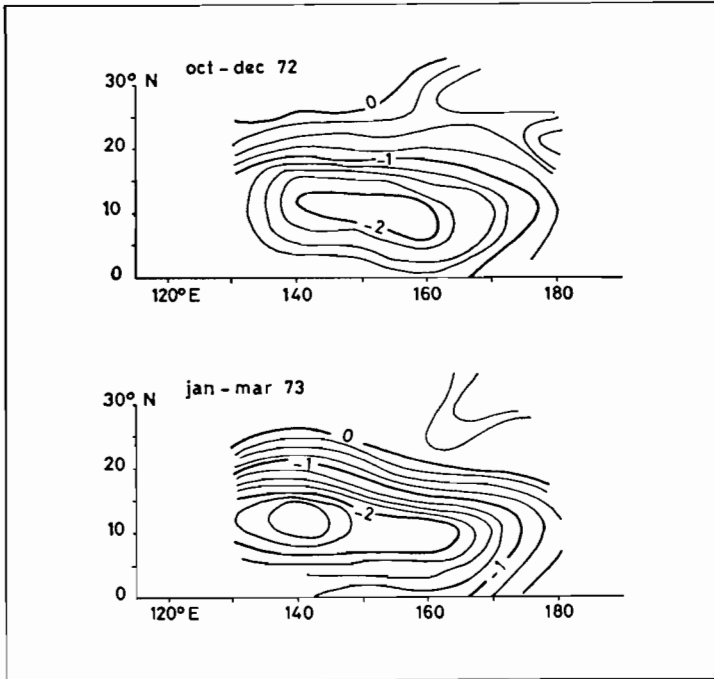


Figure 6. Temperature anomaly at 100 meters depth in degree Celsius during October-December 1972 and during January-March 1973 from White and Wylie (1977).

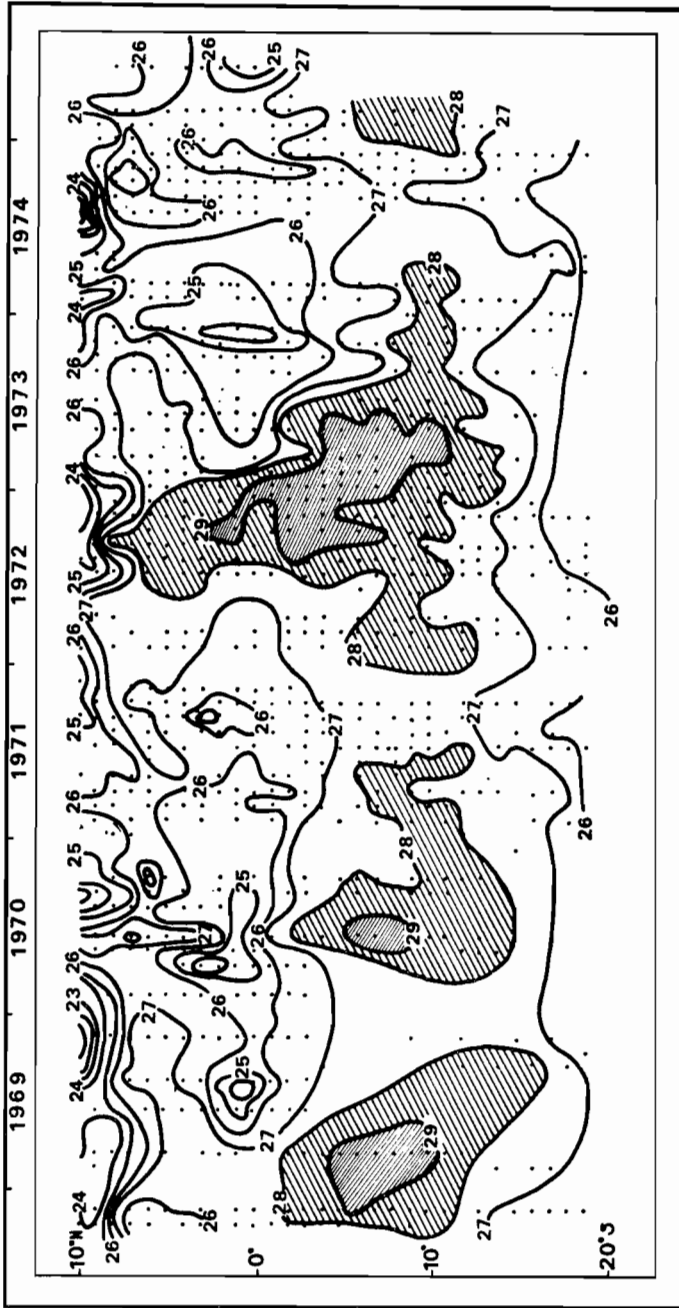


Figure 7. Heat content from the surface to 100 meters depth between Tahiti and Hawaii 1968-1975. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

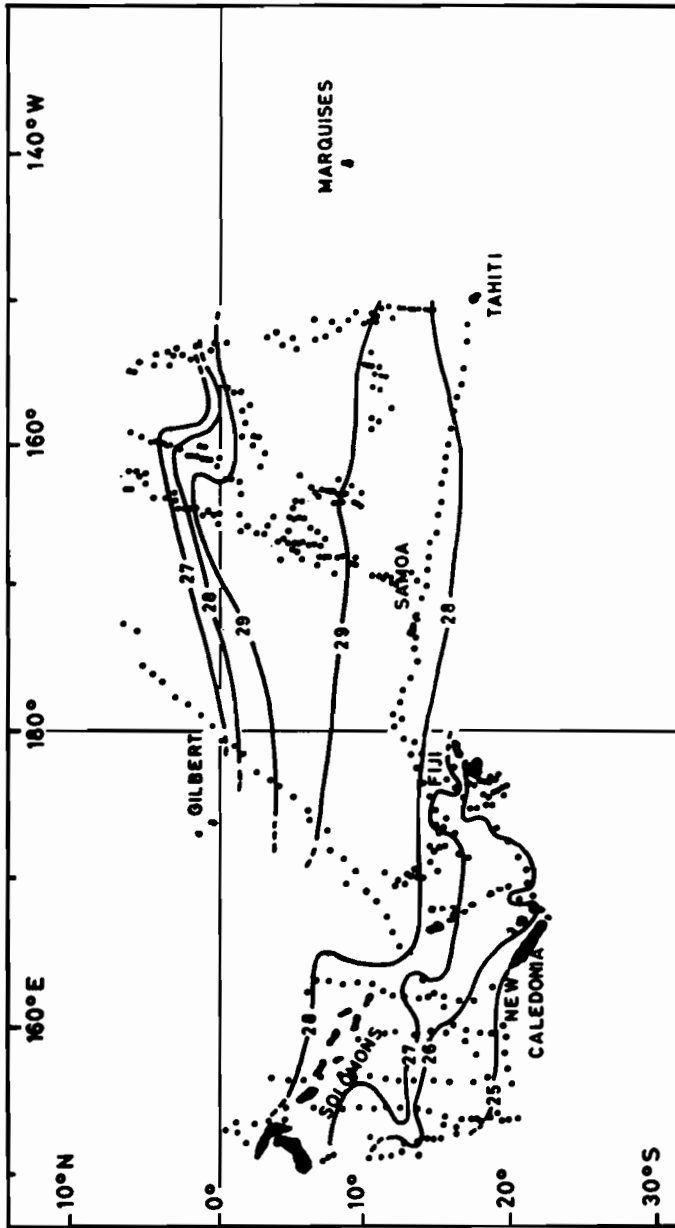


Figure 8. Heat content from the surface to 100 meters depth, October 1972-March 1973. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

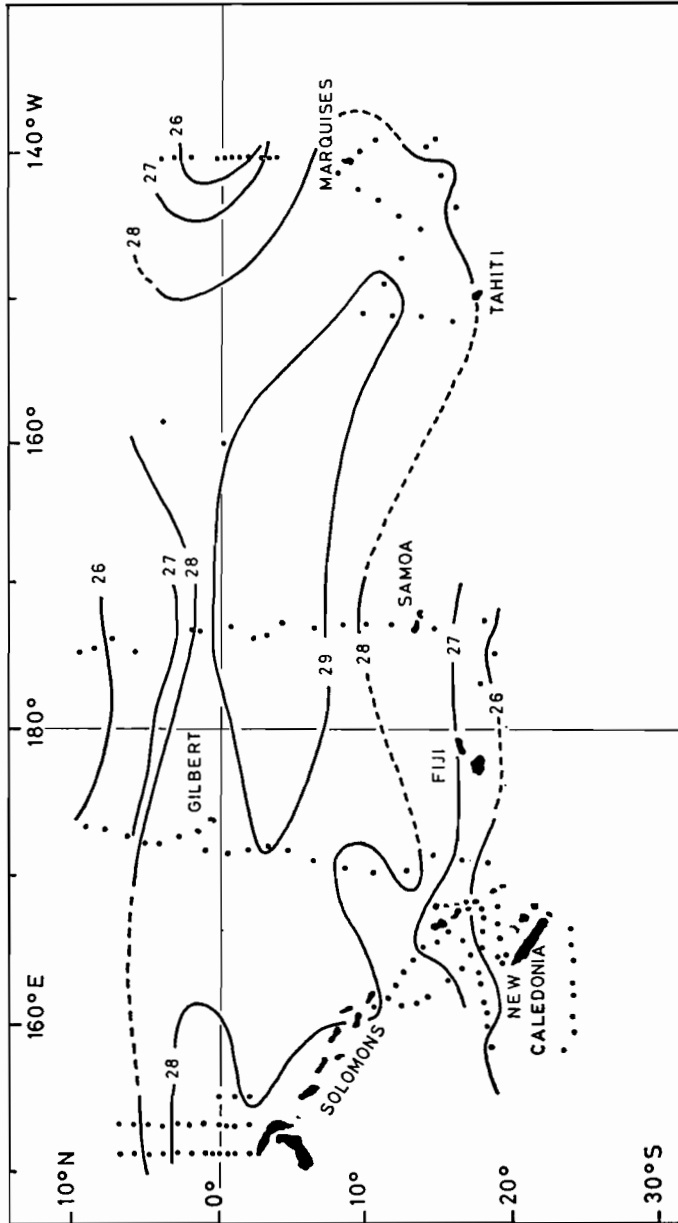


Figure 9. Heat content from the surface to 100 meters depth, November 1957-March 1958. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

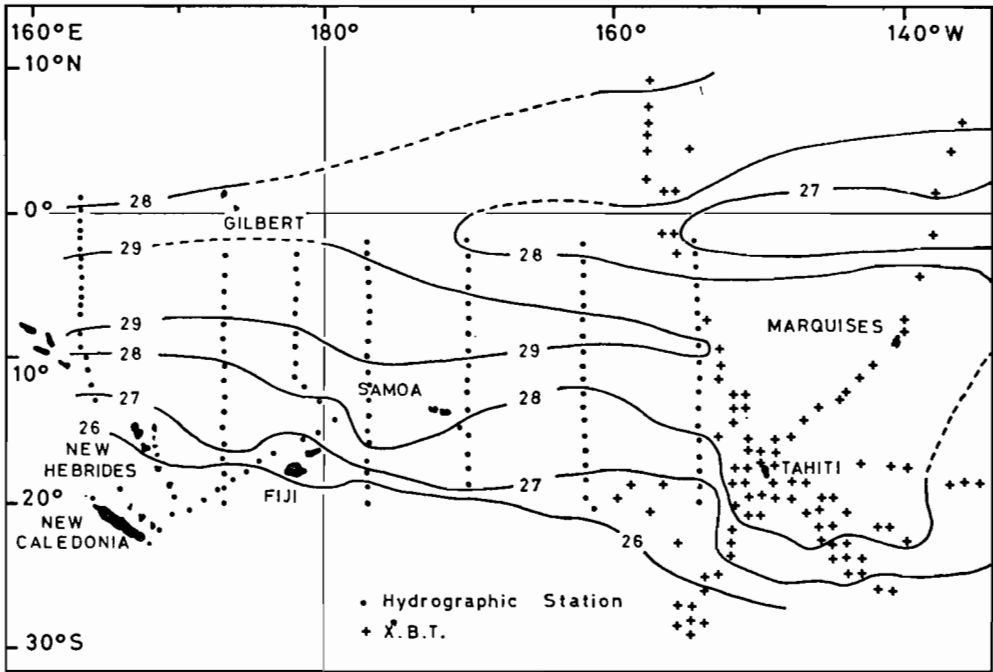


Figure 10. Heat content from the surface to 100 meters depth, November 1976-March 1977. The unit used is the 0-100 m mean temperature.

a minimum (25 units) in July-August due to the equatorial upwelling when the trade winds are the strongest. Between the equator and 10S, the heat content reaches 28 units and sometimes for a short time 29 units. However, in 1972-1973, an uncommon feature appeared: between 10N and 10S, the heat content was over 28 units with a maximum of 29 units south of the equator. This feature occurred in late 1972 and early 1973, exactly during the heat shortage observed in the Western Pacific (Fig. 5). Wyrтки *et al.* (1977) point out also a maximum of sea surface temperature along the same track in 1972-73. The following assumption may be made: during the anomalous hydroclimatic conditions occurring after El Nino, the heat pool usually located in the Western Pacific is replaced by another one located in the Central Pacific; as, during this period, the equatorial upwelling does not occur, the heat pool also spreads northward across the equator with values over 28 units.

With the help of all data available between October 1972 and March 1973 (XBT and hydrographic stations), the distribution of the heat content (Fig. 8) in the Central South Pacific shows the presence of a large maximum more than 29 units from 170E to at least 150W and from the equator to 10S. This kind of distribution, completely different from the usual one (Fig. 3 and Fig. 4) has occurred not

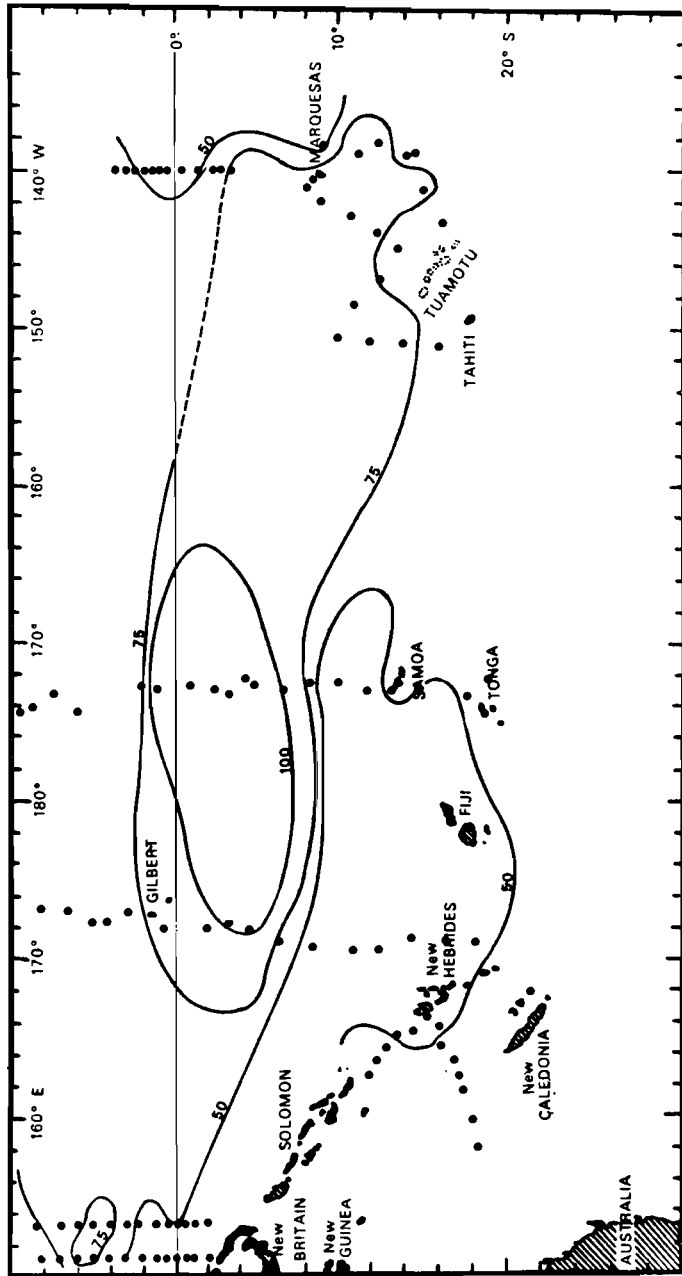


Figure 11. Depth of the mixed layer in meters, November 1957-March 1958.



only in 1972-73, but several times in the recent past and each time has been associated with El Nino events.

For example, after the strong 1957 El Nino, the heat distribution from November 1957 to March 1958, calculated from the I.G.Y. hydrographic stations (Fig. 9) shows, as in 1972-73, a maximum of more than 29 units in the Central South Pacific from 170E to 150W. After the moderate 1976 El Nino, the heat distribution from November 1976 to March 1977 (Fig. 10) also shows the same feature but not spreading as much eastward as during 1958 and 1973.

The mechanism of this heat change may be investigated. The heat content depends both on the depth and the temperature of the mixed layer. In the Equatorial Western Pacific during usual hydroclimatic conditions, this depth is close to 100 meters (Fig. 1 and Fig. 2) and the temperature between 28°C and 29°C; during anomalous hydroclimatic conditions, as in 1957-58 (Fig. 11), this depth is less than 100 meters decreasing westward, and the temperature still close to 28°C (Masuzawa and Nagasaka, 1975, Henin and Donguy, 1979). In the Equatorial Central Pacific, during usual conditions, the mixed layer depth is almost 125 meters and the temperature 28°C; during anomalous conditions, the depth is 100 meters but the temperature is higher (Wyrтки *et al.*, 1977) than during usual conditions, probably because of the absence of the equatorial upwelling. Consequently, during anomalous hydroclimatic conditions, in the Equatorial Western Pacific, the heat content is small due to the decrease of the mixed layer depth, whereas, in the Equatorial Central Pacific, the heat content is high due to the increase of the temperature. This change in the mixed layer depth has been pointed out by Wyrтки (1979) and evaluated in 1972-1973 at 50-80 meters.

## 5. Conclusion

Usually, in case of equatorial upwelling, west of 170E, a maximum of heat content stays in the Western Equatorial Pacific. After an El Nino event, without equatorial upwelling, this maximum is replaced by another one located in the Central South Pacific. The mechanism of this change involves a decrease of the mixed layer depth and this feature probably induces different climatic consequences which have to be studied.

## REFERENCES

- Donguy, J. R. and C. Henin. 1976. Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific Ocean. *J. Mar. Res.*, 34, 355-364.
- 1978a. The navifacial salinity in the tropical South West Pacific Ocean — Cahiers Orstom, série Océanographie, 16, 107-136.
- 1978b. Surface salinity fluctuations between 1956 and 1973 in the Western Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 8, 1132-1134.
- 1978c. Hydroclimatic anomalies in the South Pacific. *Oceanologica Acta*, 1, 25-30.

- Henin, C. and J. R. Donguy. 1979. Sea surface salinity and temperature anomalies between Japan and New Caledonia (1969-1978). Proc. 4th C.S.K. Symposium.
- Masuzawa, J. and K. Nagasaka. 1975. The 137E oceanographic section. *J. Mar. Res., Supplement*, 33, 109-116.
- White, W. B. and R. A. Wylie. 1977. Annual and seasonal maps of the residual temperature in the upper waters of the Western North Pacific from 1954-1974. *Scripps Inst. Oceanogr., SIO reference 77-28*, 119 pp.
- Wyrki, K., G. Meyers, D. McLain, W. Patzert. 1977. Variability of the thermal structure in the Central Equatorial Pacific Ocean. *Hawaii Institute of Geophysics, HIG 77-1*, 75 pp.
- Wyrki, K. 1979. The response of sea surface topography to the 1976 El Nino. *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1223-1231.

Received: 11 November, 1979; revised: 8 August, 1980.

Printed in U.S.A. for the Sears Foundation for Marine Research,  
Yale University, New Haven, Connecticut, 06520, U.S.A.  
Van Dyck Printing Company, North Haven, Connecticut, 06473, U.S.A.



# L'appât vivant dans le Pacifique tropical Centre et Ouest

par T. BOELY, F. CONAND et J. MUYARD,

*Océanographes biologistes de l'O.R.S.T.O.M. (\*)*

---

(\*) B.P. A5 Nouméa Cedex - Nouvelle-Calédonie.

La pêche des thons de surface dans le Pacifique central et occidental, pratiquée surtout par les Japonais, s'est considérablement développée depuis une douzaine d'années. Ainsi, les statistiques de la F.A.O. pour le Pacifique tropical ouest (zone 71) montrent que les captures de bonites (listao dans l'Atlantique) sont passées de 35 000 t en 1967 à 271 000 t en 1977. L'essentiel des prises provient de la pêche à l'appât vivant, la senne ne représentant qu'une faible part des apports. Limitée au début à la partie nord-ouest du Pacifique tropical, la zone de pêche s'est étendue progressivement vers le sud et le centre du Pacifique. Certains pays tels que le Territoire sous tutelle, la Papouasie Nouvelle-Guinée, les îles Salomon et Fidji possèdent déjà des pêcheries locales importantes. D'autres comme Tonga, les Samoa, Kiribati (anciennement îles Gilbert), les îles Cook cherchent à les développer. Dans un premier temps, tous le font par le biais d'accords avec des armements japonais.

En Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française, les ressources thonières paraissent prometteuses et permettent d'envisager un développement de la pêche de surface. Des essais de senne viennent d'être réalisés dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie, mais il est encore trop tôt pour en tirer des conclusions. La pêche à la canne et à l'appât vivant constitue une alternative, mais son développement peut être limité par la disponibilité des appâts. C'est pourquoi l'étude systématique de leurs ressources a été entreprise dans ces deux territoires. La prospection a commencé en 1977, en Polynésie française; elle vient de démarrer en Nouvelle-Calédonie. A ce stade, il a paru essentiel de faire le point des connaissances acquises dans la région.

Cet article est le résumé d'un document publié au Centre ORSTOM de Nouméa. Les points essentiels sont repris en accordant une attention particulière aux caractéristiques de l'appât dans le Pacifique et aux ressources des territoires français.

## Caractéristiques d'un bon appât

Le rôle de l'appât vivant est de fixer le thon autour du bateau de pêche. Un bon appât doit : être de capture aisée, présenter une bonne tenue en vivier, être attractif.

### Capture

Les techniques de capture employées dans le Pacifique et la grande fragilité de certaines espèces imposent des lieux de pêche très abrités. En général, l'appât est capturé de nuit après concentration au moyen de lampes de forte intensité, le plus souvent immergées. Ensuite, il est transféré à l'aide de seaux dans les viviers du canneur. C'est une phase particulièrement délicate de la pêche et l'agitation de la mer peut jouer un rôle important dans la mortalité de l'appât, notamment chez les espèces les plus fragiles. La pêche peut aussi se pratiquer de jour avec une senne de plage.

### Tenue en vivier

Dans le Pacifique tropical, la plupart des espèces d'appât sont fragiles et leur survie en vivier à circulation d'eau de mer est courte, souvent inférieure à la semaine. Les juvéniles de nombreuses espèces s'adaptent moins bien à la vie en vivier que les adultes. La température de la mer joue aussi un rôle non négligeable et souvent des eaux trop chaudes sont une cause de mortalité accrue. Maintenant, les canneurs japonais les plus modernes arrivent sur les lieux de pêche avec leur propre appât capturé au Japon et conservé dans des viviers en circuit fermé où la température de l'eau est maintenue entre 15° et 18°. Les quantités d'appât embarqué sont en principe suffisantes pour couvrir les besoins pendant toute la campagne.

### Attrait de l'appât

De nombreux facteurs jouent, les principaux étant :

— *Comportement.* — L'appât doit rester groupé en surface, rechercher la protection du canneur en venant se réfugier dans la zone d'ombre et y rester le plus longtemps possible afin de retenir le thon près du bateau. Il est préférable que l'appât soit vif, qu'il nage rapidement et saute hors de l'eau ;

— *Taille et aspect.* — Les appâts employés dans le Pacifique tropical sont plus petits que dans l'Atlantique. Leur taille est comprise entre trois et quinze centimètres et ils sont le plus fréquemment d'une taille moyenne de 5 à 6 cm. Les poissons présentant des bandes argentées ou dorées, de coloration non uniforme, sont de bons appâts, facilement vus par le thon ;

— *Nombre.* — A poids égal, il est préférable d'utiliser un appât composé de petits poissons, un grand nombre d'individus ayant l'avantage d'exciter davantage le thon : moins vite rassasié, il reste aussi plus longtemps.

## Engins, méthodes et lieux de capture

Dans le Pacifique tropical, où de nombreuses espèces sont utilisées comme appât, toutes vivent à proximité des côtes ou des récifs, à l'intérieur des lagons. Les essais japonais de capture d'appât au large n'ont guère été couronnés de succès (Nakamura *in* Shomura, 1977).

### Engins et méthodes de capture

Dans le Pacifique, il existe une grande diversité d'engins de capture qui peuvent être ramenés à quatre grandes catégories : les filets verticaux du type bouki-ami, les sennes, les carrelets et les filets barrage. Tous ont des mailles très fins, entre 3,5 mm et 10 mm de côté, généralement sans nœuds et sont teints en bleu ou en noir.

### La pêche de nuit

Le lieu de pêche est en général choisi avant la nuit. Le bateau est ancré par petits fonds, le plus souvent sur un

mouillage en croix dans un endroit protégé du vent, de la houle et sans courant. Le poisson est concentré à l'aide de lampes de forte puissance (500 à 1 500 W), soit aériennes et très proches de la surface, soit immergées entre 5 et 10 m. Celles-ci sont éloignées de plusieurs mètres du bateau par des tangons. Lorsque l'on juge que le poisson est suffisamment concentré, il est amené doucement par un jeu de lumière vers le côté du navire où s'effectue la pêche.

Dans l'Atlantique, on emploie de petits bateaux pour transférer les appâts du filet aux viviers. Dans le Pacifique, où les espèces sont fragiles, l'emploi du haveneau augmente de façon considérable la mortalité. Le transfert s'effectue avec des seaux dont l'intérieur est souvent peint en noir afin que les appâts s'y dirigent d'eux-mêmes, ayant ainsi l'impression d'y trouver un refuge. Un seau contient de 1,5 kg à 4 kg de poisson.

— *Les filets verticaux.* — Ces filets sont de tradition japonaise. Il en existe de nombreux types, le plus employé actuellement étant le bouki-ami d'un emploi très simple (fig. 1). Le filet se compose en général d'une seule pièce à maillage très fin, à peu près carrée et d'une vingtaine de mètres de côté. Sa partie supérieure est solidement attachée à des bambous qui servent de flotteurs et qui, disposés parallèlement au canneur, sont ensuite écartés d'une dizaine de mètres du bord du navire par d'autres bambous. Sa partie inférieure, plombée, descend verticalement. La remontée du filet se fait à la main en tirant sur une série de filins attachés à intervalles réguliers sur la partie inférieure. Fréquemment, des poids supplémentaires sont disposés aux points d'attache des filins. Dès que la partie inférieure est à bord, la partie supérieure est rapprochée du navire à l'aide des bambous transversaux, de façon à former une poche où le poisson est gardé avant d'être transféré. Avec ce filet, les prises excèdent rarement 500 kg de poisson, même dans les endroits très favorables. Ce système de pêche a été employé avec succès en Nouvelle-Calédonie.

— *Les sennes.* — Les petites sennes coulissantes, du type des bolinches employées par les canneurs basques ou bretons dans l'Atlantique, ne sont guère utilisées dans le Pacifique tropical où la nature du fond corallien, avec ses nombreuses croches, limite leur emploi.

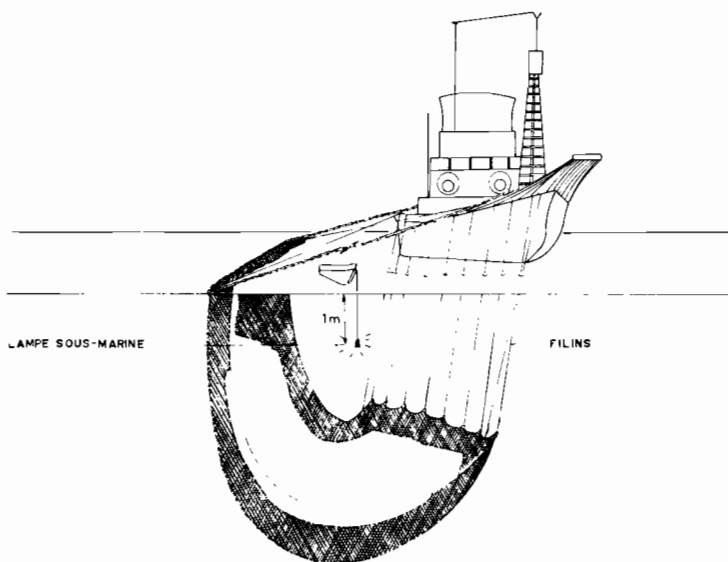


Fig. 1. — Vue schématique de la mise en œuvre d'un « bouki-ami » (F.A.O. 1974)

— *Les carrelets.* — Ce type de filet n'est pas très répandu dans le Pacifique tropical ouest, les flottes japonaises préférant le bouki-ami. Il a été cependant employé en Nouvelle-Calédonie avec un rendement moyen de 60 kg d'appât par nuit de pêche en novembre 1973 (Muyard, 1980).

#### La pêche de jour

On emploie surtout le filet barrage et la senne de plage.

— *Le filet barrage.* — Cet engin (fig. 2), couramment utilisé au Japon, n'est guère employé dans le Pacifique tropical. Il se compose d'une longue nappe à grandes mailles de plus de 100 m de long qui, disposée verticalement dans l'eau, forme barrage et dirige le poisson vers une sorte de nasse. Ce filet, long à mettre en œuvre, reste en place pendant quelque temps au même endroit, les pêcheurs venant enlever chaque jour l'appât capturé. Les essais faits avec ce filet en 1972 par la JAMARC (1) en Nouvelle-Calédonie ont été décevants.

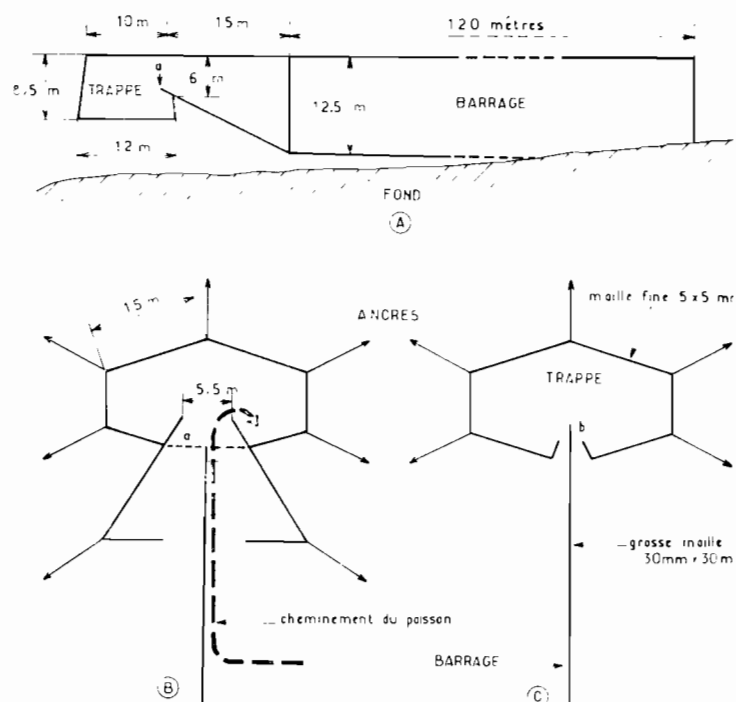


Figure 2. FILET BARRAGE (d'après Grandperrin et Fourmanno 1972)  
 A. vue de profil  
 B. montage avec plan incliné  
 C. montage sans plan incliné

— *La senne de plage.* — La senne de plage employée pour capturer l'appât est de petite taille : environ 150 m de longueur. Son emploi est limité à cause des fonds coralliens et des zones de mangroves et elle ne peut être utilisée que dans des endroits à fonds sableux ou vaseux. Fréquemment le canneur ne peut approcher de la plage et il faut alors transporter l'appât à l'aide de viviers flottants. Cette manipulation supplémentaire peut entraîner une mortalité relativement élevée. Dans certains cas, de bonnes captures qui ont souvent dépassé les rendements obtenus de nuit au bouki-ami ont été effectuées aux îles Marquises (Polynésie française) à Fidji, aux îles Marshall et à Kiribati.

(1) C.P.S. : Commission du Pacifique Sud.  
 IATTC : Inter American Tropical Tuna Commission.  
 JAMARC : Japan Marine Resource Research Center.  
 N.M.F.S. : National Marine Fishery Service (USA).

## Choix du lieu de pêche

La capture de l'appât se fait à proximité des côtes ou des récifs, le plus souvent à l'intérieur des lagons, dans des zones où les fonds sont inférieurs à 40 m. Dans le cas particulier du bouki-ami, son emploi impose un certain nombre de critères dans le choix du lieu de pêche. Selon Kearney (1978), il doit répondre au moins aux exigences suivantes :

— protection contre les vents dominants pour éviter houle et clapot préjudiciables à l'attraction du poisson et à son transfert dans les viviers ;

— courants faibles ou nuls, permettant une bonne mise en place du filet et la concentration du poisson sous la lumière ;

— profondeur minimale dépendant de la chute de l'engin ;

— proximité de vastes zones peu profondes, habitat de prédilection des appâts.

## Principales espèces d'appât vivant

Dans le Pacifique tropical ouest, il existe au moins une centaine d'espèces qui sont régulièrement employées comme appât vivant. Les plus importantes sont les anchois, les sardines, les sprats, les prêtres, les cardinaux et fusiliers, etc. Le tableau I récapitule leurs principales caractéristiques.

### Les anchois (famille des Engraulidés)

Il existe plus d'une dizaine d'espèces d'anchois dans le Pacifique tropical, mais cinq sont régulièrement capturées et utilisées comme appât : *Stolephorus heterolobus*, *Stolephorus devisi*, *Stolephorus buccaneeri*, *Stolephorus purpureus* et *Thryssina baelama*. Les deux premières sont très communes. *S. purpureus* se rencontre uniquement dans les îles Hawaï. Les anchois sont d'excellents appâts. Les poissons sont vifs, nagent en groupe et restent en surface près du rannear. Ils peuvent sans problème être mélangés entre eux ou à d'autres poissons dans les viviers. Difficiles à capturer le jour, ils se concentrent facilement à la lumière et possèdent une assez bonne tenue en vivier à condition d'avoir une aération supérieure à 5 cm.

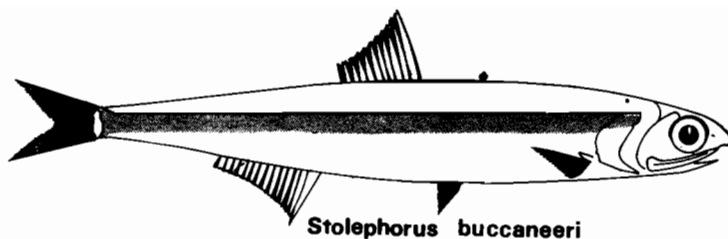
### Sardines, sardinelles, sprats (famille des Clupeidés)

La sardine, *Herklotsichthys punctatus*, est présente dans la plupart des îles du Pacifique tropical. Elle constitue un bon appât de taille moyenne comprise entre 7 et 12 cm, robuste, qui peut parfaitement tenir plus d'une semaine en vivier. Sa nage est vive, elle se regroupe dans l'ombre du rannear lors de la pêche et paraît être un poisson attrayant pour le thon.

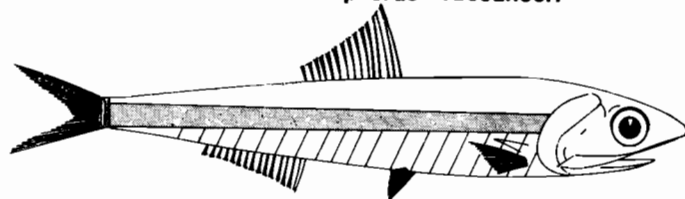
Les principales espèces de sardinelles sont : *Sardinella assieu*, *S. sirm*, *S. marquesensis*. Toutes sont considérées comme de bons appâts, robustes. En général d'une taille supérieure à 10 cm, les sardinelles ne sont pas particulièrement recherchées. On connaît mal leur répartition et leur abondance saisonnière dans le Pacifique tropical. *S. marquesensis* se rencontre uniquement aux îles Marquises où sa présence semble irrégulière.

Deux sprats sont très communs : *Spratelloides gracilis* et *S. delicatulus*. De petite taille, inférieure à 10 cm, ils vivent en surface dans les lagons, mais se rencontrent parfois à l'extérieur à faible distance du récif. Capturés aussi bien de nuit à la lumière que de jour, ils sont considérés comme d'excellents appâts, argentés, allongés, vifs et restant groupés sous le navire.

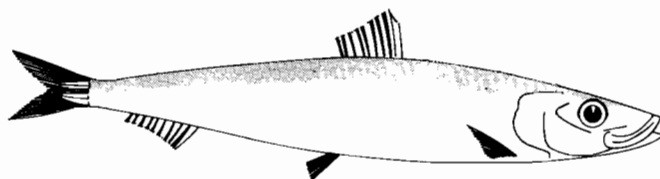
Ils sont très fragiles et leur mortalité en vivier est élevée. Ainsi, Kearney (1977) observe une mortalité de 100 % en



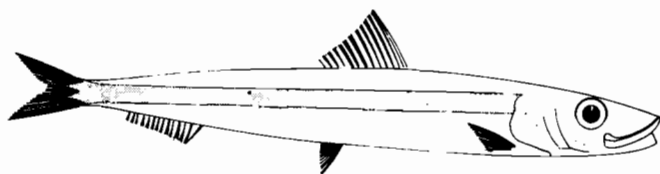
*Stolephorus buccaneeri*



*Stolephorus heterolobus*

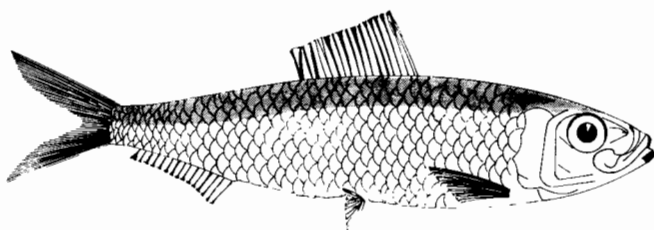


*Spratelloides delicatulus*

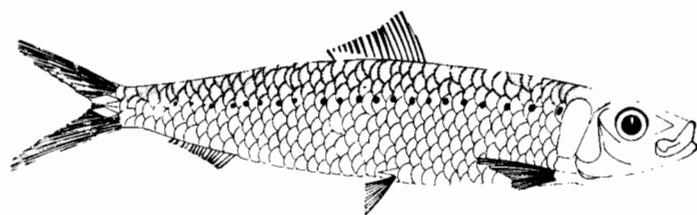


*Spratelloides gracilis*

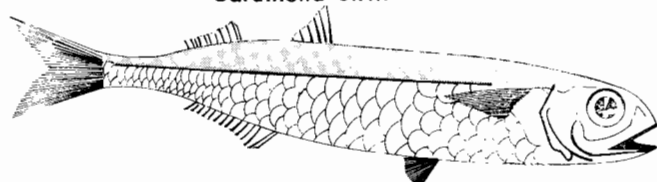
### ANCHOIS ET SPRATS (F.A.O. 1974)



*Herklotsichthys punctatus*



*Sardinella sirm*



*Pranesus pinguis*

### SARDINE, SARDINELLE ET PRETRE (F.A.O. 1974)

Tableau I - Qualités des principaux appâts rencontrés dans le Pacifique tropical.

Espèces	Capture		Réaction à la lumière	Robustesse			Attrait vis-à-vis du thon	Taille moy. (LT cm)	Appréciation générale
	de jour	de nuit		à la capture	au trans-bordement	à la vie en vivier			
Anchois		+	+++	++	+	++	+++	4 à 8	Très bon appât
Sardines	+	+	++	++	++	+++	++	6 à 12	Bon appât
Sardinelles	+	+	++	++	++	+++	++	8 à 17	Bon appât souvent un peu grand.
Sprats	+	+	+++	+	+	+	+++	4 à 8	Très bon appât, extrêmement fragile.
Prêtres	+	+	++	+++	+++	+++	++	5 à 10	Appât moyen
Cardinaux	+		+	+++	+++	+++	+++	4 à 8	Très bon appât
Fusiliers et lutjans	+		+	+++	+++	+++	+++	5 à 10	Très bon appât quand juvénile.
Chinchards	+	+	++	++	++	++	++	8 à 15	Bon appât quand juvénile
Maquereaux	+	+	++	++	++	++	++	8 à 15	Bon appât quand juvénile

+ Médiocre  
++ Bon  
+++ Très bon

trois jours chez *S. delicatulus*. Leur survie est meilleure s'ils sont mélangés à d'autres espèces, en particulier anchois ou sardines. Il existe un autre sprat, *Dussumieria acuta*, excellent appât, mais d'une extrême fragilité.

#### Autres espèces

Les prêtres (Atherinidés), malgré leur robustesse, sont considérés comme médiocres en raison de leur nage lente. Ils sont peu attirés par la lumière et les meilleures prises ont lieu de jour à la senne de plage.

Les cardinaux (Apogonidés) sont robustes et attractifs mais peu abondants et de capture difficile. Ils sont surtout utilisés dans les îles Carolines et en Papouasie Nouvelle-Guinée.

Enfin, les juvéniles de fusiliers (Lutjanidés), de chinchards et de maquereaux sont de très bons appâts.

### Ressources en appât vivant du Pacifique centre et ouest

L'état des ressources en poisson d'un pays peut s'évaluer de deux façons : analyse de l'exploitation et campagnes exploratoires, ces deux moyens pouvant se cumuler. Dans de nombreux pays du Pacifique tropical et dans les territoires français en particulier, il n'existe encore aucune pêcherie à l'appât vivant. Les seules pêcheries, japonaises en général, se trouvent en Papouasie Nouvelle-Guinée, dans le Territoire sous tutelle, aux Fidji et aux îles Salomon. Les quelques campagnes exploratoires réalisées dans le Pacifique avant 1977 sont restées très ponctuelles. Récemment, des campagnes ont été faites en Polynésie française par le CNEXO et par l'IATTC et dans tout le Pacifique tropical à partir d'octobre 1977 par l'*Hatsutori-Maru-1*, navire affrété par la C.P.S. (1). Tous les pays ont été visités au moins une fois. Le tableau II donne les principaux résultats des pêches d'appât de ce navire. Ceux-ci sont particulièrement intéressants, car toujours obtenus selon la même technique.

#### Nouvelle-Calédonie

Trois campagnes de prospection d'appât et de pêche au thon furent faites entre 1972 et 1978, toutes entre septembre et janvier (Muyard, 1980). Depuis mars 1980, une série de campagnes, uniquement consacrées à la recherche d'appât, est entreprise par l'ORSTOM avec le NO *Vauban*.

Au cours des trois premières campagnes faites en fin d'année, deux anchois dominaient dans la plupart des lieux de capture. Sardines et sprats étaient fréquents, ainsi qu'un chinchard (*Decapterus maruadsi*). Une dizaine d'autres espèces se rencontraient régulièrement. Le taux de survie fut très bon sauf pour les sprats et les anchois. De plus, la taille moyenne de la plupart des appâts se situait vers 60 mm, ce qui est excellent pour la bonite. En mars et mai 1980, sardines, sardinelles et prêtres constituaient l'essentiel des prises. Il ressort de ces observations (tableau III) que les ressources en appât de la Nouvelle-Calédonie paraissent importantes ; toutefois, il est nécessaire d'étudier leurs variations saisonnières d'abondance, de taille et de composition spécifique.

#### Nouvelles-Hébrides

Il existe peu d'endroits favorables à la capture nocturne d'appât. De plus, les ressources en appât paraissent peu élevées. Les rendements de l'*Hatsutori-Maru* ont été très faibles, voire nuls certaines nuits (tableau II). Dans les quelques pêches effectuées, deux anchois dominaient. Toutefois, sardine, sardinelle et prêtre existent dans les eaux des Nouvelles-Hébrides. C'est pourquoi, dans le cadre d'un développement de la pêche à la canne, il faudrait tenter d'exploiter ces espèces avec des moyens de capture autres que le boukami, sans perdre de vue la modicité des ressources.

#### Wallis et Futuna

Futuna n'offre pas de lieux propices à la pêche et ses ressources en appât sont probablement très faibles. A Wallis,



Tableau II - Principaux résultats des pêches d'appât de l'"Hatsutori Maru" N° 1  
(voir note en fin de tableau)

P a y s	Dates d'observations	Principales espèces	Rendements A moyens (seaux)	Taille moyenne de l'appât	Nombre de	
					pêches**	lieux de pêche **
Papouasie Nouvelle-Guinée	02/10 - 01/11/77	Anchois Sprats Sardines	P = 96,28 N = 123,79	50 mm	18	9
Iles Salomon	01/11 - 04/12/77	Anchois Sprats et sardines Fustiliers	P = 71,33 N = 107,00	55 mm	21	12
Nouvelle-Calédonie	13/12/77 - 19/01/78	Anchois Sprats Sardines	P = 83,37 N = 151,59	60 mm	40	9
Nouvelles-Hébrides	05-13/12/77 et 20-23/01/78	Anchois et Sprats Sardines	P = 26,3 N = 16,8	45 mm	7	5
Fidji	26/01-18/02/78 et 28/03-10/04/78	Sprats Sardinelles Otters	P = 77,7 N = 132,6 J = < 1	50 mm	37 : nuit 2 : jour	19
Tonga	11/04-03/05/78	Sprats Prêtres (de jour) Anchois	P = 17,5 N = 28,9 J = 39	65 mm	23 : nuit 9 : jour	3 : nuit 2 : nuit
Wallis et Futuna	04-31/05/78	Anchois Sardinelle	P = 193,17 N = 289,75	Anchois : 55 mm Sardin. : 126,0	24	2
Samoa occidentales	06-14/06/78	Anchois "Gazza minuta"	P = 65,5 N = 98,3	45	12	5
Samoa américaines	31/05-05/06/78 et 15/06-21/06/78	Sprats	P = 18,7 N = 23,4	35	5	4
Tuvalu	25/06-04/07/78	Sprats	P = 177 N = 354	39	4	1
Iles Gilbert - Kiribati	05-25/07/78	Cardinaux Sardines et sprats Prêtres (de jour)	P = 100,8 N = 77,6 J = 267,3	55	11 : nuit 5 : jour	3 : nuit 1 : jour
Territoire sous tutelle	26/07-15/08/78 et 02/10-15/11/78	Sprats Anchois Atherinidés	P = 54,7 N = 101,5 J = 22,8	50	45 : nuit 5 : jour	15 : nuit 3 : jour
Tokelau	19-23/11/78	Mugilides Sprats	P = 3,0 N = 3,0 J = 6,75	50	1 : nuit 4 : jour	10 : nuit 2 : jour
Cook septentrionales	24/11-05/12/78	Sprats	P = 27,2 N = 54,3	50	12	3
Polynésie Française	06/12/78 au 03/02/79	Sprats et anchois Sardinelles Chinchards	P = 20,24 N = 33,81 J = 41,67	45 Sardin. : 90	55 : nuit 17 : jour	12 : nuit 4 : jour
Cook méridionales	04-11/02/79	---	---	---	---	---
Papouasie Nouvelle-Guinée	14/05-02/07/79	Anchois Sprats et prêtres Sardines	P = 63,2 N = 118,2 J = 21,3	50	39 : nuit 4 : jour	14 : nuit 2 : jour

\* Poids d'appât dans unseau standard : 1,5 kg. \*\* Lorsqu'aucune indication n'est portée, toutes les pêches ont été effectuées de nuit au bouki-ami.

P = Nombre moyen de seaux par pêche  
N = " " " " par nuit de pêche  
J = " " " " par journée de pêche

Tableau III - Résultats des pêches d'appât au cours des différentes campagnes réalisées en Nouvelle-Calédonie.

Période	Navire	Type de filet	Nombre de nuits de pêche	Rendements (Kg)		Principales espèces
				par nuit	par pêche	
du 23.09.72 au 02.11.72	Kuroshio Maru	Filet barrage Carrelet Senne	28	30	?	Sardines, anchois sardinelles
du 10.11.73 au 02.12.73	Akitsu Maru	Filet vertical Carrelet	1	10	10	Anchois et sprats
du 13.12.77 au 19.01.78	Hatsutori Maru	Bouki-ami cuv : 550 m <sup>2</sup>	22	227	125	Anchois, sprats, sardines
04-28.03.80	Vauban	Bouki-ami cuv : 150 m <sup>2</sup>	14	183	112	Sardines sardinelles, prêtres
05-19.05.80	Vauban	Bouki-ami	13	177	92	

l'"Hatsutori-Maru" a obtenu d'excellents rendements (tableau II). Un anchois était très abondant, puis une sardinelle et un sprat. La mortalité de l'appât a été élevée en raison de l'état de la mer au cours du transbordement du poisson. A Wallis, les conditions paraissent favorables à la pêche à la canne. Cependant, le lagon y est petit et son exploitation devra être menée avec prudence, car ces observations portent sur des ressources encore vierges dont on ne connaît pas les variations.

### Polynésie française

Les tableaux IV et V résument l'essentiel des résultats acquis dans les trois principaux groupes d'îles de la Polynésie française : les îles de la Société, l'archipel des Tuamotu et les îles Marquises. Le N.M.F.S. et l'IATTC (1) ont surtout porté leur effort sur ces dernières.

Aux Marquises, les pêches étaient surtout faites de jour, avec une senne de plage qui donnait des résultats généralement supérieurs aux pêches de nuit au bouki-ami. Dans tous

les cas, la « sardine » des Marquises (en réalité une sardinelle) a représenté plus de 95 % des prises. C'est un excellent appât qui présente une très bonne tenue en vivier. Les rendements sont peu élevés et Nakamura et Wilson (1970) estiment que les ressources en appât des îles Marquises sont trop faibles pour pouvoir supporter une exploitation thonière à l'appât vivant de grande taille.

Très peu d'observations ont été faites dans l'archipel des Tuamotu. L'"Hatsutori-Maru" n'y a fait que des pêches de nuit au bouki-ami avec des rendements faibles (tableau IV). Les sprats constituaient l'essentiel des prises. C'est dans les îles de la Société que les rendements de l'"Hatsutori-Maru", du C.-H.-Gilbert en 1959 et du Tai-Nui en 1978 et 1979 ont été les plus médiocres. Des journées de pêche y ont été perdues faute d'appât. La composition par espèce et par taille des captures était très variable et souvent hétérogène.

En conclusion, l'archipel des Tuamotu et surtout les îles Marquises semblent offrir les meilleures possibilités de capture d'appât en Polynésie française. Leurs ressources sont cependant limitées.

### Autres pays du Pacifique tropical centre et ouest

— A Fidji, il existe depuis longtemps une pêche bonitière à l'appât vivant liée à la présence de sprats, de sardines et de sardinelles. Les ressources en appât y sont suffisantes pour alimenter une petite flottille de canneurs, d'autant plus que le maximum d'abondance de l'appât correspond à celui de la bonite.

— Aux Cook, à Niue, Takelau, Tonga et aux Samoa, les ressources semblent très limitées, et les sites se prêtant à la pêche de l'appât sont rares. Les canneurs qui veulent opérer dans ces pays doivent arriver avec leur propre appât et ne peuvent pas compter en trouver sur place. Pour tenter de remédier à ceci, les Samoa ont entrepris depuis 1974 un élevage de poissons d'appât (mollies) et des essais de pêche concluants ont eu lieu avec l'"Hatsutori-Maru".

— A Kiribati et Tuvalu, l'appât paraît abondant. Les observations sont cependant trop ponctuelles pour pouvoir estimer les ressources en appât de ces pays.

— Iles Salomon et Papouasie Nouvelle-Guinée. Une importante exploitation à la canne liée à des armements japonais s'est développée depuis 1970 dans ces pays. L'appât est constitué principalement de sprat et d'anchois et les ressources sont importantes.

— Territoire sous tutelle des îles du Pacifique. Certaines îles abritent depuis plusieurs décennies une exploitation du thon à la canne. Les ressources en appât sont assez bien connues, en particulier à Palau, Truck, Panape et aux îles Marshall. La plupart des espèces sont rencontrées mais semblent parfois présenter de grandes variations interspécifiques suivant les années.

Tableau IV - Résultat des pêches d'appât réalisées par le "Hatsutori Maru I" en Polynésie Française du 06/12/78 au 03/03/79 (d'après KEARNEY, HALLIER et GILLET, 1979).

Région	Nombre de pêches		Prises moyennes en Kg.		Principales espèces et taille moyenne
	nuit	jour	nuit	jour	
Marquises	4	7	9	72	Sardinelle 61 et 95 mm
Tuamotu	25	0	40	-	Sprats 37 mm
Société	26	10	22	6	Sprats 37 mm, anchois, chinchards

Tableau V - Résultats des pêches d'appât réalisées aux Iles Marquises au cours de campagnes exécutées entre 1957 et 1979.

Navire	Période	N. de j. de pêche	Nombre de pêches			Prise totale (Kgs)	Prise par jour de pêche	Rendements par pêche (kg)			Taille modale des sardinelles*
			total	jour	nuît			totaux	jour	nuît	
C.H. Gilbert(1)	14/01-11/03/57	21	66	59	7	6225	296	94	87	160	90
C.H. Gilbert(1)	13/10-02/12/57	9	25	25	-	1946	216	78	78	-	90
H.M. Smith (1)	15/01-14/02/58	14	60	53	7	2527	180	42	43	35	100
C.H. Gilbert(1)	26/02-20/04/58	13	60	57	3	1578	121	26	27	5	100
H.M. Smith (1)	12/05-12/06/58	11	56	56	-	1055	96	19	19	-	90-100
C.H. Gilbert(1)	20/01-25/01/59 19/02-14/03/59	10	48	48	-	1222	122	25	25	-	90
Tai-Nui (2)	19/08-07/11/77	-	32	32	-	260	-	8	8	-	-
Mary-K (3)	22/02-05/04/78	-	47	44	3	655	-	14	13	28	-
Hatsutori Maru(4)	06/01-13/01/79	6	11	7	4	542	90	50	72	9	60-95
Cornucopia (3)	04/01-20/05/79	95	165	162	3	2250	24	14	14	6	-

(1) NMFS - (2) CNEXO - Territoire de la Polynésie Française - (3) IATTC - (4) CPS.

\* La sardine des Marquises (*Sardinella marquensis*) représente de 95 à 99 % des captures.

Tableau VI - Résultats de la campagne de recherche d'appât vivant menée à Fidji de juin 1971 à juillet 1973 (FAO, 1974).

Engin de pêche	Nombre de :		Capture totale (kg)	Rendements par pêche (kg)
	Lieux de pêche	Je pêches		
Senne de plage	23	133	2939	72
Filet vertical	50	197	2466	13
Bouki-ami	42	89	2688	89
Total	115	419	13093	31

### Etat général des ressources

De nombreuses études sont encore nécessaires pour avoir une estimation des ressources en appât. Cependant, à partir de la campagne de l'*Hatsutori-Maru-1* qui a systématiquement visité tous les pays du Pacifique tropical, on constate que les ressources en appât naturel diminuent très fortement à l'est du 180°. Les pays situés à l'ouest de cette ligne, pour la plupart, semblent posséder des ressources en appât naturel des flottilles de canneurs de taille moyenne. Ceci est déjà qui, sans être considérables, peuvent supporter néanmoins le cas à Fidji, aux îles Salomon, en Papouasie Nouvelle-Guinée et dans certaines des îles Carolines. Au contraire, à l'est de cette ligne, les possibilités de développer à partir d'appât naturel une pêche thonière à la canne paraissent limitées. L'emploi d'appât d'élevage pourrait améliorer nettement les conditions d'exploitation.

### Appâts d'élevage

Avec le développement de la pêche à la canne, on constate un regain d'intérêt pour l'élevage d'appât. Son utilisation réduit les pertes de temps dues à la recherche et à la pêche de l'appât, assure une régularité dans l'approvisionnement des canneurs et ouvre la perspective d'une meilleure exploitation de certains secteurs. Des essais d'élevage sont en cours en

Polynésie française, à Kiribati, aux Samoa, à Tonga, ainsi qu'à Hawaii. Ils portent sur plusieurs espèces : les molliers (*Poecilia mexicana*), le chanos ou « milkfish » (*Chanos chanos*), le tilapia (*Tilapia mossambica*) et une « alose » (*Dorosoma petenense*). Toutes sont caractérisées par leur résistance aux variations du milieu et aux différentes manipulations.

Des essais d'élevage concluants ont déjà eu lieu dans quelques pays mais à petite échelle et pour l'instant le prix de vente est bien trop élevé. Dans la conclusion de son étude sur les mollies, le CNEXO (1979) pense que les pêcheurs ne peuvent accepter de payer l'appât plus de 100 CFP (soit 5,50 F) le kilo. Il est donc nécessaire d'entreprendre des études très serrées quant aux coûts et aux possibilités de production. Il ne faut pas oublier, en effet, que pour capturer 1 000 t de thon, il faut environ 50 t d'appâts.

### Conclusion

L'appât naturel dans l'océan Pacifique centre et ouest possède des caractéristiques particulières. Un grand nombre d'espèces y sont utilisées, aucune n'étant très abondante. Les poissons sont de petite taille, le plus souvent inférieure à 10 cm, ce qui nécessite des filets à maillage très fin pour les prendre. L'appât est fragile et doit être transféré dans les viviers avec beaucoup de précautions. La survie est inférieure à la semaine chez la plupart des espèces. Le bouki-ami est le filet le plus employé, et les prises excèdent très rarement 500 kg. Ces conditions sont donc très différentes de celles rencontrées dans l'est de l'Atlantique tropical où un petit nombre d'espèces fournit un appât robuste, très abondant, avec des rendements élevés.

La diversité des îles du Pacifique et le petit nombre de campagnes exploratoires font que nos connaissances des potentialités des différents pays sont fragmentaires. Néanmoins, dans l'ouest du Pacifique tropical, les ressources en appât naturel de la plupart des pays sont suffisantes pour que les perspectives d'exploitation du thon à la canne soient bonnes. Dans le centre au contraire, les canneurs seront rapidement limités par l'approvisionnement en appât dès que les





## Climatic Teleconnections in the Western South Pacific with El Niño Phenomenon

J. R. DONGUY AND C. HENIN

*Centre ORSTOM—B.P. A5, Noumea, New Caledonia*

(Manuscript received 30 October 1979, in final form 9 September 1980)

### ABSTRACT

In the western South Pacific, one year after a typical El Niño event, anomalous hydroclimatic conditions replace the usual ones. The abnormal meteorological conditions are characterized by the Intertropical Convergence Zone of the winds being arrested close to the equator. The equatorial area becomes rainy, and south of 10°S the wet season does not occur. The statistical comparison of the rainfall data with the intensity of El Niño events of the previous year shows a consistent correlation between both phenomena.

### 1. Introduction

Many authors have mentioned the equatorial climatic anomalies in the central and western Pacific Ocean, in the form of warm surface temperature and heavy rainfall inside a usual cool and dry area. Austin (1960) pointed out the example of 1957, then Bjerknes (1966, 1969) showed it was a more general phenomenon. Doberitz (1968), using cross-spectrum analysis between several equatorial stations, discovered sound coherencies of the anomalies from the western Pacific to the South American coast. Krueger and Gray (1969), based on satellite records of cloudiness, connected these events with the Walker circulation.

Most authors consider that the observed equatorial climatic anomalies are related to El Niño events occurring along the South American coast. Consequently, El Niño is no longer considered as a local event, but as a global phenomenon effective particularly in the Pacific Ocean. However, although many authors have taken into account the equatorial anomalies, few of them have noticed the tropical ones (White and Walker, 1973). Donguy and Henin (1976) have shown that a drought occurred south of 10°S during a period of anomalous equatorial rainfall and that such hydroclimatic anomalies started in the western Pacific six months after an El Niño event (Donguy and Henin, 1978a).

### 2. Hydroclimatic conditions considered as normal in the western tropical Pacific Ocean

According to Atkinson and Sadler (1970), the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) of the winds has a seasonal oscillation from about 15°S in the western South Pacific (February–March) to 10°N

in the western North Pacific (September–October) (Fig. 1). In the tropical area, the rainy season is mainly due to the presence, in the Northern and in the Southern Hemisphere, of the ITCZ which usually induces rainfall. As a result, in the western tropical South Pacific, during March the ITCZ located at about 15°S induces low-salinity water by precipitation (Fig. 2). In October (Fig. 3), the ITCZ is located at 10°N where it also induces low-salinity water by precipitation. Saline water along the equator is due to the equatorial upwelling induced by trade winds and also to the low rainfall occurring in this area.

### 3. Anomalous hydroclimatic conditions in the western tropical Pacific

For some austral summers, the normal hydroclimatic conditions have been reversed (Donguy and Henin, 1976). West of 180°, instead of moving from 10°N to 10°S, the ITCZ remains close to the equator (Fig. 4). As a result, the equatorial upwelling disappears west of 180° and the equatorial area, which is usually dry, then becomes particularly rainy. The ITCZ does not reach the tropical area, the rainy season is not induced, and a drought results.

Such hydroclimatic anomalies have been pointed out after the 1976 El Niño, manifested in March by a low-salinity tongue moving southward along the South American coast (Fig. 2). Commencing in August 1976 (Fig. 5), in the western Pacific, the ITCZ was located partly on the equator instead of at 10°N as during 1978 (Fig. 3).

The occurrence of anomalous phenomena in the western and central Pacific Ocean and their intensity

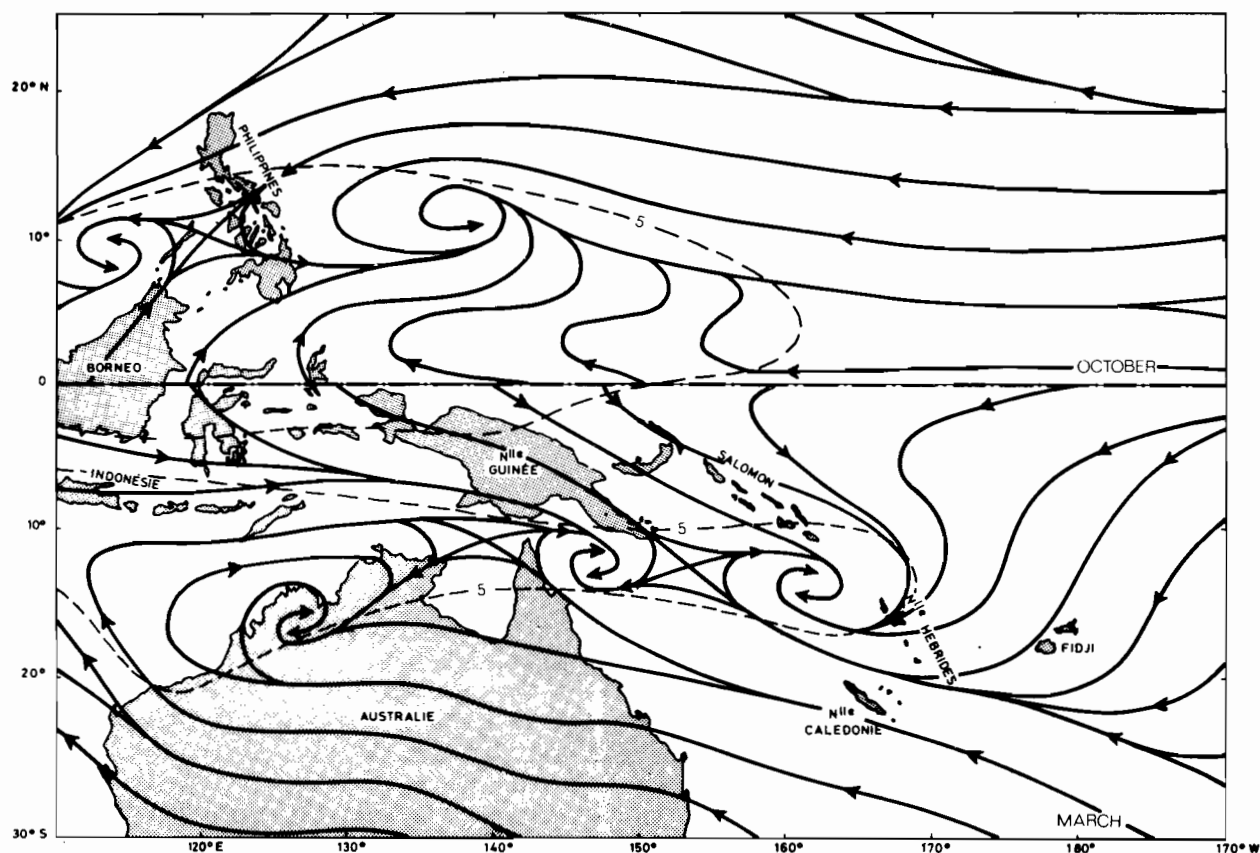


FIG. 1. Seasonal oscillation of the Intertropical Convergence Zone of the winds from 15°S (February–March) to 10°N (September–October). The wind speed minimum (<5 kt) is indicated by a dashed line.

are thus connected to the occurrence and to the intensity of the last El Niño event. It should be emphasized that such abnormal precipitation occurs only in the equatorial area of the western and central Pacific while a rainfall deficit occurs in the tropical zone.

Most of the rainfall data were obtained from Taylor (1973). These data recorded by a meteorological station are variable according to the elevation, location, structure and size of the base. However, if we take into consideration for a special period (rainy season or dry season) the observed rainfall and, for the same period, the mean rainfall calculated from the data recorded for many years, the ratio of the observed precipitation to the mean precipitation may be considered as independent of the characteristics of the station. For the considered period, it therefore gives information on excess or shortage of the rainfall.

Quinn *et al.* (1978) have established a classification index for the intensity of El Niño events from oceanographical, meteorological and economical considerations: 1, very weak; 2, weak; 3, moderate; 4, strong. We adopt this index as a measure of El Niño intensity here.

#### a. Equatorial area of the western Pacific

In the western Pacific, the equatorial area is usually dry with the occurrence of the equatorial upwelling, but strong rainfall periods are observed (Donguy and Henin, 1978b) due to the presence of the ITCZ. The rainfall data from the following stations have been considered (Table 1): Ponape, Ocean, Nauru, Fanning, Taiohae, Atuona and Papeari (Tahiti), all with more than 38 years of observation.

In order to establish a relation between the rainfall regime and El Niño events, the ratio of the observed and mean rainfalls between October and April for the year following El Niño is plotted against the El Niño intensity index (Fig. 6). Without El Niño (i.e., with an intensity equal to zero in abscissa), the ratio is usually less than 1. In case of El Niño, the ratio is usually more than 1 and increases with the intensity of the event (top panel of Fig. 6) but, as the data distribution is not normal, this feature is only an estimate. However, one can apply the Spearman rank correlation method to this data. The Spearman correlation coefficients are all positive (Table 1, middle entries). Good correlations

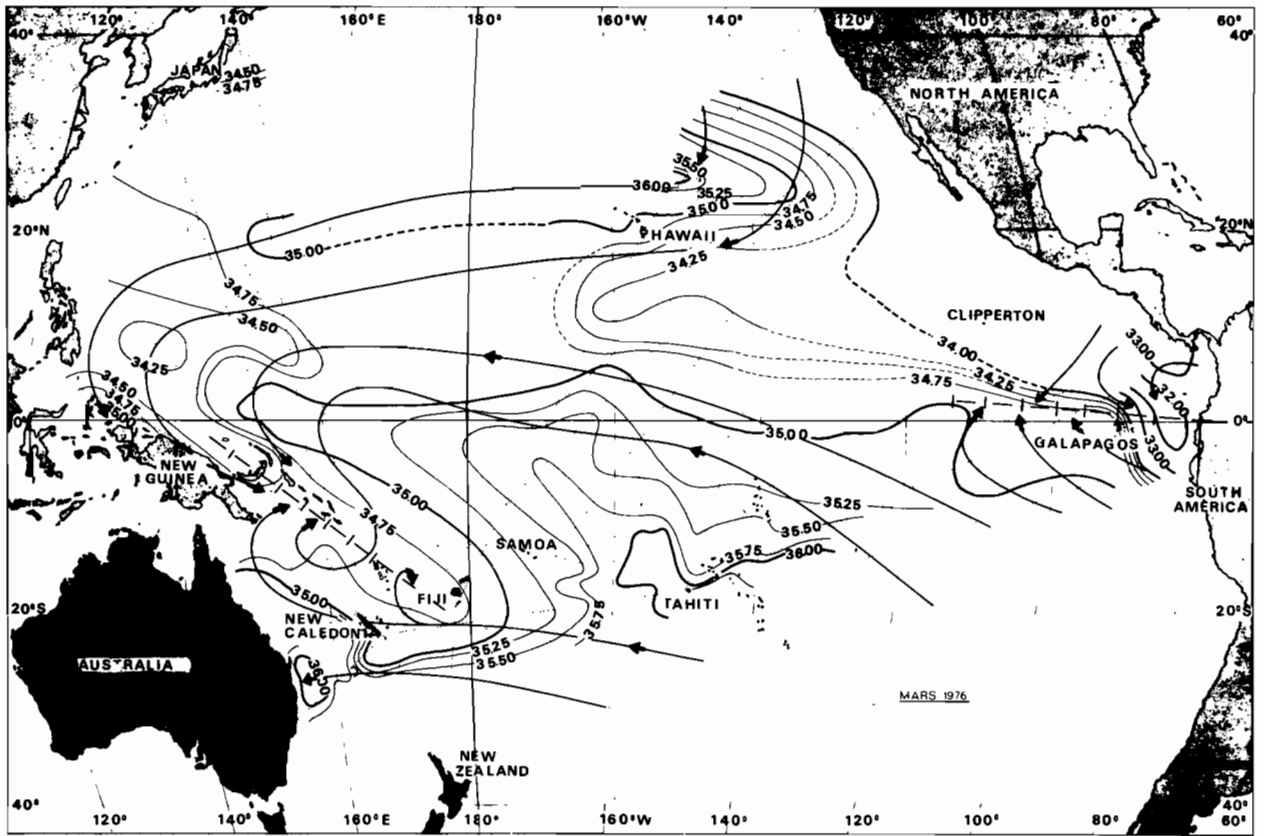


FIG. 2. Surface salinity (‰) in March 1976. Wind direction is indicated by arrows and the Intertropical Convergence Zone of the winds by a broken line.

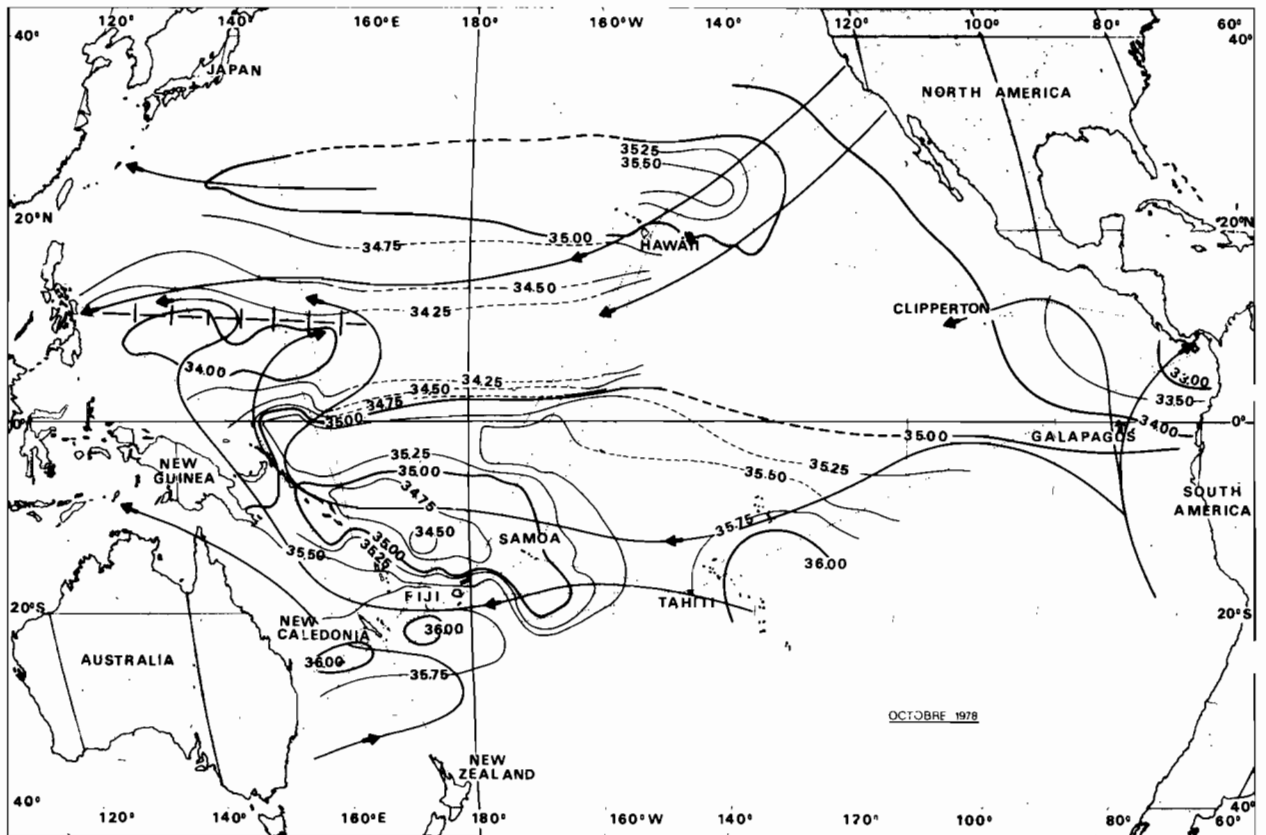


FIG. 3. As in Fig. 2 except for October 1978.

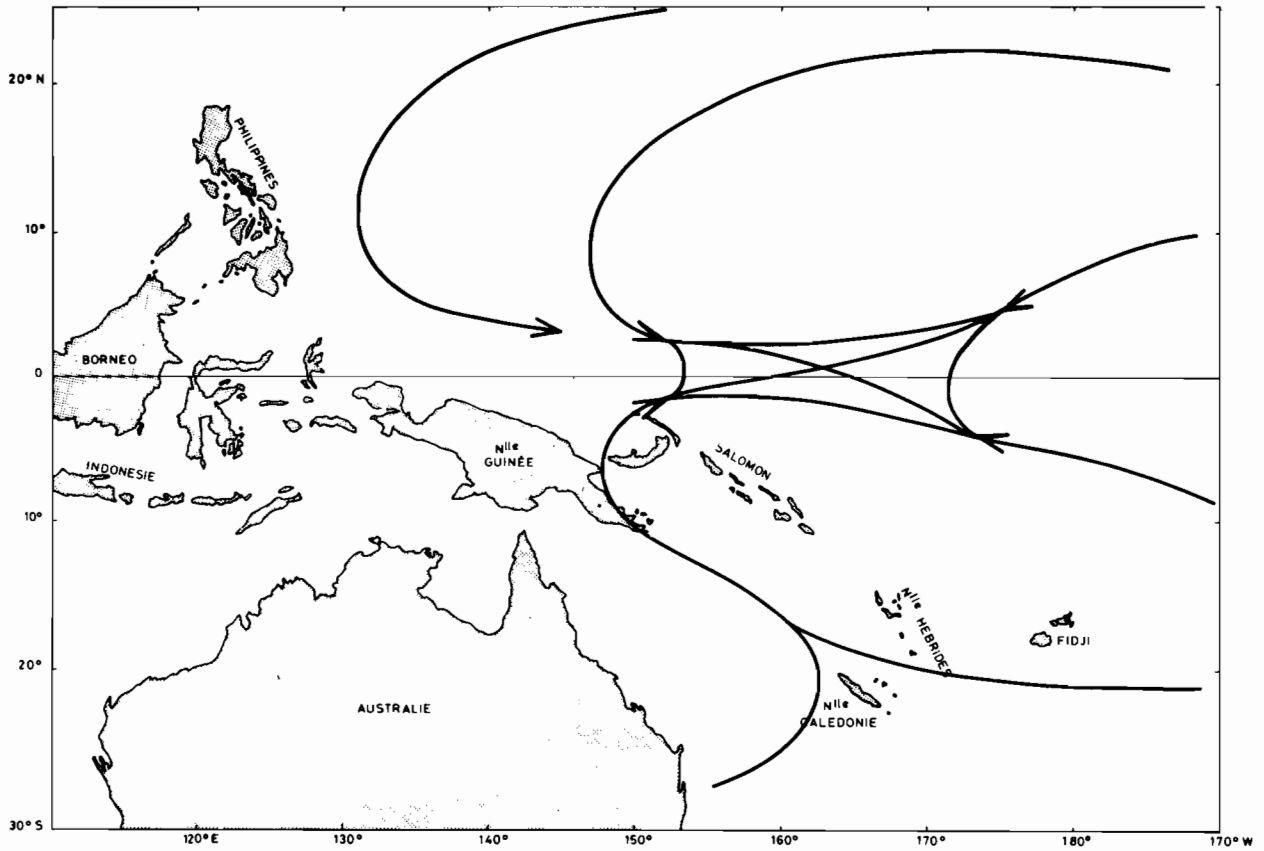


FIG. 4. Wind field when the ITCZ is located on the equator during several months.

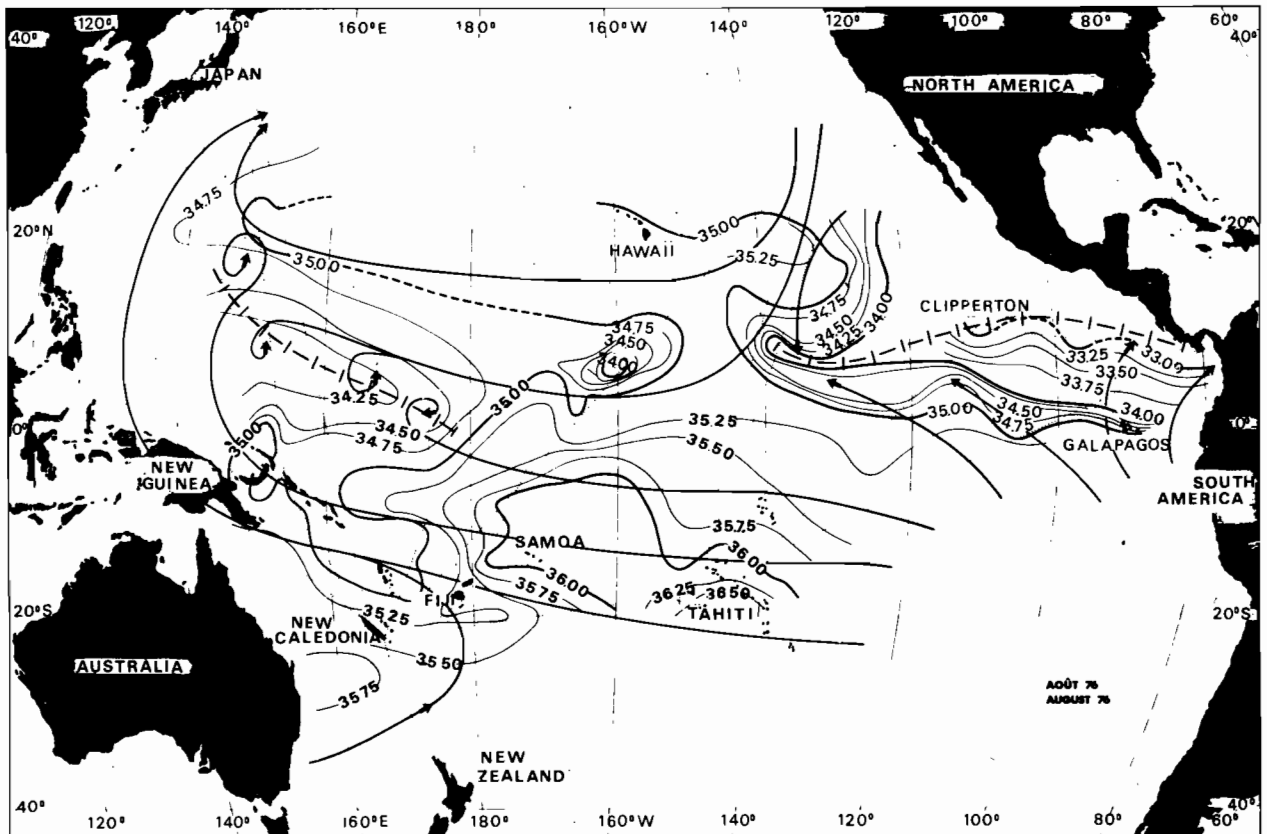


FIG. 5. As in Fig. 2 except for August 1976.



TABLE 1. Statistical comparison of rainfall data with intensity of El Niño events.

Station	Latitude	Longitude	Record length (years)	Spearman correlation	Significance level
Noumea	22°16'S	166°27'E	77	-0.49	0.0005
Suva	18°08'S	178°26'E	94	-0.32	0.005
Apia	13°48'S	171°47'W	89	-0.33	0.005
Nukualofa	21°08'S	175°12'W	38	-0.35	0.025
Rarotonga	21°12'S	159°46'W	80	-0.28	0.01
Norfolk	29°03'S	167°56'E	61	-0.26	0.025
Niue	19°02'S	169°55'W	51	-0.14	0.10
Cairns	16°53'S	145°44'E	75	-0.25	0.025
Ponape	6°58'N	158°13'W	45	+0.15	0.10
Fanning	3°55'N	159°23'W	57	+0.66	0.0005
Ocean	0°52'S	169°55'E	61	+0.57	0.0005
Nauru	0°30'S	167°00'E	60	+0.46	0.0005
Taiohae	8°56'S	140°05'W	38	+0.61	0.0005
Atuona	9°48'S	139°02'W	38	+0.63	0.0005
Papeari	17°45'S	149°20'W	54	+0.17	0.10
Truk	7°28'N	151°51'E	29	-0.47	0.005
Kwajalein	8°44'N	167°43'E	34	-0.22	0.10
Majuro	7°05'N	171°23'E	24	-0.31	0.10
Wake	19°17'N	166°39'E	38	-0.28	0.05

with high significance levels are noticed in the isolated equatorial islands Ocean, Nauru, Fanning, stations cross correlated by Doberitz (1968), and in the Marquesas islands Taiohae and Atuona; very poor correlations are noted at Ponape, north of the equator and at Papeari (Tahiti) south of the Marquesas Islands.

#### b. Tropical area of the western South Pacific

The observations of the events subsequent to the last El Niño phenomenon (Donguy and Henin, 1978a) show that they seem to precede a drought by one year in the tropical area of the western South Pacific, south of 10°S. This drought is due to the lack of the rainy season (October–April) caused by the absence of the ITCZ south of 10°S. As for the equatorial zone, we are only considering the stations with long series of rainfall measurements (over 38 years) (Table 1): Noumea (New Caledonia), Suva (Fiji), Apia (Samoa), Rarotonga (Cook Islands), Nukualofa (Tonga), Niue, Norfolk Island and Cairns (Australia). Fig. 6 is used as before. For all these stations, without El Niño (i.e., with an intensity equal to zero in abscissa) the ratio of the observed and mean rainfalls spread over each side of 1, the majority of the values being between 0.5 and 1.5. In case of El Niño, the ratio is usually <1, sometimes less than 0.5, and decreases with the intensity of the event. Since the data distribution is not normal, only the Spearman rank correlation can be used. The correlations for these stations are all

negative. Although not as good as for the equatorial area, the best correlations are observed in Noumea, Suva, Apia and Nukualofa, with equally good significance levels. These areas are the most sensitive to the drought due to El Niño.

#### c. Tropical area of the western North Pacific

In the islands of the western North Pacific (Marshall, Caroline, Mariana), there is no report of drought after any El Niño event. These islands receive almost continuous rainfall all year round and the rainy season is not clearly defined. However, when the ITCZ stops on the equator and does not move to 10°N, it would be assumed that less rainfall than usual occurs. The ratio of the observed and mean rainfall is calculated between July and January but, unfortunately, the series of rainfall records for these islands is shorter than elsewhere (Table 1). Negative correlations exist between the rainfall and the intensity of El Niño at Truk (Caroline Islands) (Fig. 6), Majuro, Kwajalein (Marshall Islands) and Wake but, as the rainfall distribution is not normal, the Spearman rank correlation must be used. The best correlation then occurs in Truk with also a good significance and the poorest in Kwajalein. However, Ponape, in the same group of islands has a positive correlation.

#### 4. Discussion

Correlation and significance may be influenced by groups structure of the El Niño time series. Sometimes a strong El Niño is repeated for two consecutive years. In the time series considered between 1883 and 1978, this feature occurred eight times, which is insufficient to change the degree of freedom significantly. Sometimes after the second year when El Niño occurs, the rainfall regime also changes drastically. In this case, in the tropical area, strong rainfall follows a year of low rainfall and, in the equatorial area, the situation is reversed. The second year of a strong El Niño does not always have the same effect as the first year.

The western Pacific may be divided into three zones (Fig. 7):

- A southern tropical zone from Australia to 160°W and from 10°S–25°S where the correlation between rainfall and El Niño index is negative. In this area the drought occurs due to El Niño, the most sensitive zone being located between New Caledonia and Samoa.

- An equatorial zone from 160°E to 130°W and from 10°S to 10°N, where the correlation between rainfall and El Niño index is positive. In this area strong rainfall occurs following El Niño, the most sensitive zone including Fanning and the Marquesas Islands.

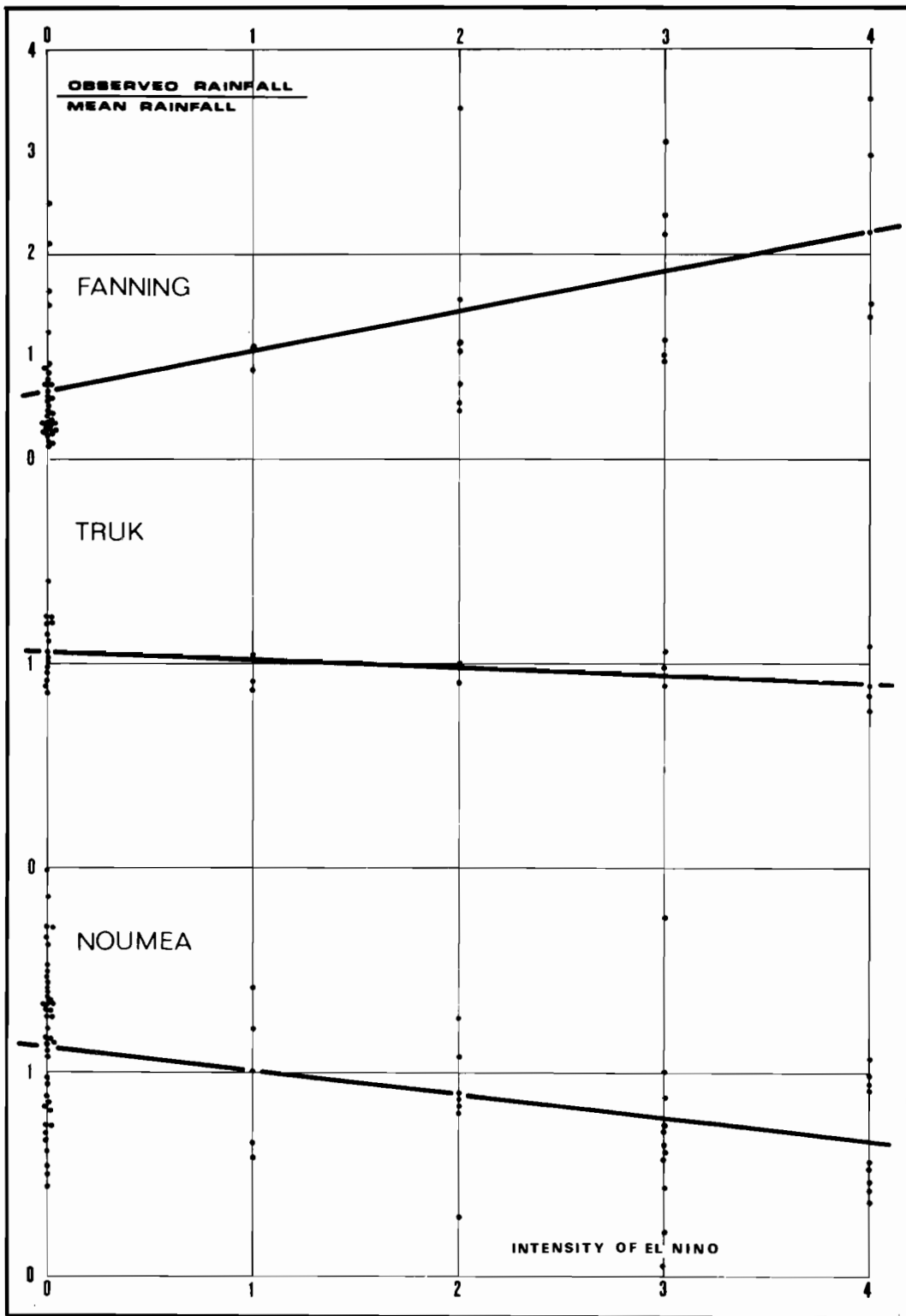


FIG. 6. Correlations between the intensity of El Niño and the ratio of the observed and mean rainfall at Fanning, Truk and Noumea.

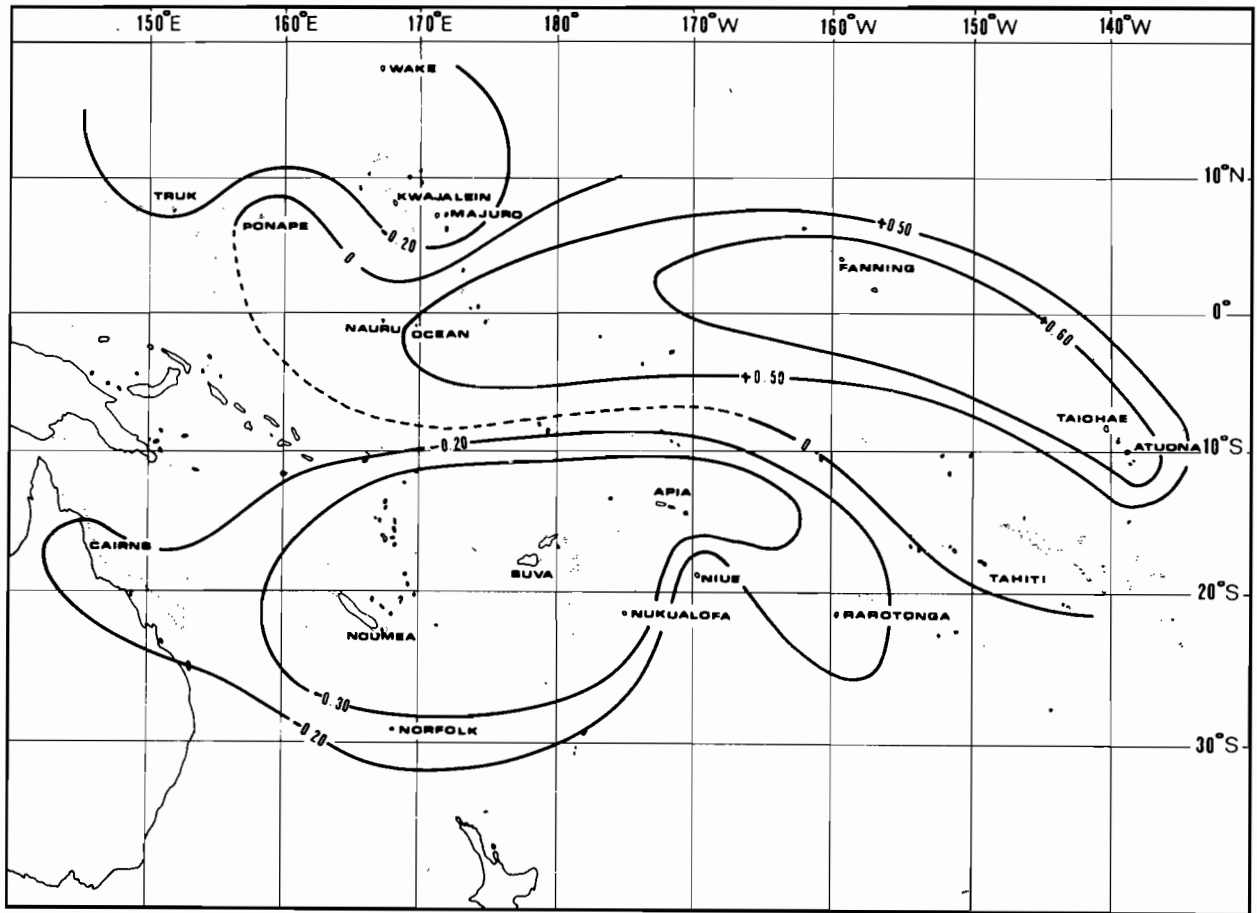


FIG. 7. Different zones of correlation between the intensity of El Niño and the ratio of the observed and mean rainfall.

- A northern tropical zone from 150°E to 180° and from 5–20°N, where the correlation between rainfall and El Niño index is negative. In this area the rainfall after El Niño is lower than usual.

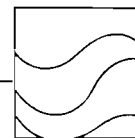
## 5. Conclusion

In the western Pacific, two areas of good correlation between the rainfall and the intensity of El Niño have been determined, a positive one close to the equator and a negative one from 10–25°S. From 5–20°N, a negative correlation also occurs but must be only considered as a trend. At least for the western South Pacific, the appearance of El Niño is a significant indication for the occurrence of a drought during the following year.

## REFERENCES

- Atkinson, F. D., and J. C. Sadler, 1970: Mean and gradient-level wind charts over the tropics. Air Weather Service, U.S. Air Force, 15 pp., 38 charts.
- Austin, T. S., 1960: Summary, 1955–57 ocean temperatures, Central Equatorial Pacific. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports, Vol. 7, 52–55.
- Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, **18**, 820–829.
- , 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163–172.
- Doberitz, R., 1968: Cross spectrum analysis of rainfall and sea temperature at the Equatorial Pacific Ocean. *Bonn. Meteor. Abhandl.*, No. 8, 61 pp., 13 figs.
- Donguy, J. R., and C. Henin, 1976: Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific Ocean. *J. Mar. Res.*, **34**, 355–364.
- , and —, 1978a: Hydroclimatic anomalies in the South Pacific. *Oceanolog. Acta*, **1**, 25–30.
- , and —, 1978b: Surface salinity fluctuations between 1956 and 1973 in the western South Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* **8**, 1132–1134.
- Krueger, A. F., and T. I. Gray, 1969: Long term variations in equatorial circulation and rainfall. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 700–711.
- Quinn, W. H., D. O. Zopf, K. S. Short, and R. T. W. Kuo Yang, 1978: Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. *Fish. Res. Bull.*, **76**, 663–678.
- Taylor, R. C., 1973: *An Atlas of Pacific Islands Rainfall*. Data Report No. 25, HIG 73-9, University of Hawaii, 165 pp., 13 figs.
- White, W. B., and A. E. Walker, 1973: Meridional atmospheric teleconnections over the North Pacific from 1950 to 1972. *Mon. Wea. Rev.*, **101**, 817–822.





Hydroclimat  
ITCZ  
Surface salinity  
Surface circulation  
Heat content

Hydroclimat  
Zone intertropicale  
de convergence des vents  
Salinité de surface  
Circulation de surface  
Contenu thermique

# Two types of hydroclimatic conditions in the South-Western Pacific

J. R. Donguy, C. Hénin,  
Centre ORSTOM, BP N° A5, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

Received 21/2/80, in revised from 24/7/80, accepted 3/8/80.

## ABSTRACT

Two types of hydroclimatic conditions exist in the South-Western Pacific:

- one is characterized by the seasonal movement during the year from 10°S to 10°N of the Intertropical Convergence Zone of the winds, which induces the wet season and a surface salinity minimum. The surface circulation is made up of two current systems separated by the 160°W meridian. West of 180°, the maximum of heat content spreads from 10°S to 10°N.
- the other is characterized by the presence at the equator of the Intertropical Convergence Zone of the winds for several months. Due to heavy rainfall, the surface salinity minimum is found on the equator whereas, south of 10°S, a maximum is noticed. Only one current system exists from 160°E to 140°W. The heat content maximum moves from the Western Pacific to the Central Pacific. These conditions usually prevail 6 months after an El Niño phenomenon.

*Oceanol. Acta*, 1981, 4, 1, 57-62.

## RÉSUMÉ

Deux sortes de conditions hydroclimatiques  
dans le Pacifique tropical Sud-Ouest.

Il y a deux sortes de conditions hydroclimatiques dans le Pacifique tropical Sud-Ouest :

- l'une est caractérisée par l'oscillation saisonnière de la zone intertropicale de convergence des vents de 10°S à 10°N, qui amène la saison des pluies et provoque l'apparition d'un minimum de salinité de surface. La circulation de surface est constituée de deux systèmes de courants séparés par le méridien 160°W. A l'ouest de 180°, le maximum de contenu thermique s'étend de 10°S à 10°N.
- l'autre est caractérisée par la présence à l'équateur de la zone intertropicale de convergence des vents pendant plusieurs mois. Sur l'équateur, les pluies sont abondantes et un minimum de salinité apparaît, tandis qu'au sud de 10°S on remarque un maximum. La circulation de surface est caractérisée par la présence de 160°E à 140°W d'un seul système de courant. Le maximum de contenu thermique s'est déplacé du Pacifique Ouest au Pacifique Central. Ces conditions hydroclimatiques apparaissent habituellement 6 mois après El Niño.

*Oceanol. Acta*, 1981, 4, 1, 57-62.

INTRODUCTION

All available surface data for the years 1956-1974 has been compiled for the South-Western Tropical Pacific Ocean, between 150°E and 130°W, and between 10°N and 25°S, to establish two surface salinity charts per year; in 1973-1974, four charts per year were drawn up (Donguy, Hénin, 1978 a). Since 1975, a number of ships of opportunity have provided enough data to draw up a monthly chart.

From these charts, the influence of the El Niño phenomenon in the South-Western Tropical Pacific has been pointed out by the occurrence of unusual surface features (Donguy, Hénin, 1976; Donguy, Hénin 1978 b). Now, with more accurate observations, two types of hydroclimatic conditions can be observed. One is characterized by the movement during the year, from 10°S to 10°N, of the Intertropical Convergence Zone of the winds (ITCZ), and the other by the presence at the equator of the ITCZ during several months.

HYDROCLIMATIC CONDITIONS WITH THE SEASONAL MOVEMENT OF THE ITCZ

According to Atkinson and Sadler (1970), the ITCZ has a seasonal oscillation from about 15°S in the South-Western Pacific (February-March) to 10°N in the North-Western Pacific (September-October) (Fig. 1). The wet season is mainly due to the presence in the Northern or in the Southern hemisphere of the ITCZ which brings rainfall. As a result, during March, in the South-Western Tropical Pacific, the ITCZ located about 15°S (Fig. 2) induces low salinity water by precipitations. In the Southern-Central Pacific, a maximum of salinity is due to the evaporation and, along the equator, the saline water is due to the equatorial upwelling induced by trade-winds.

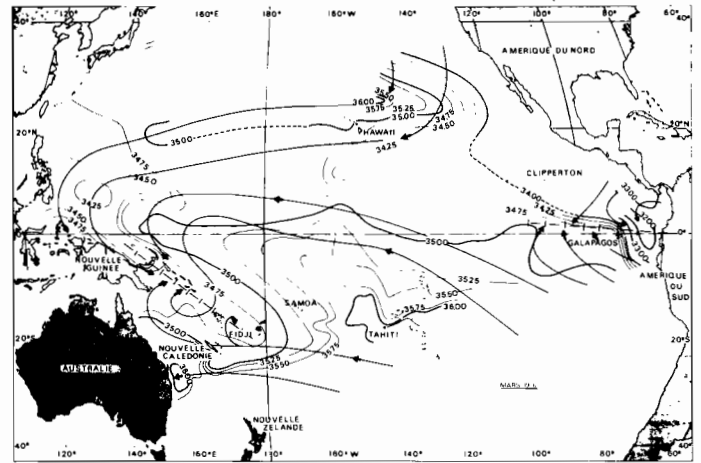


Figure 2  
Surface salinity, per mil, March 1976. Wind direction is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of winds by a dotted line. Salinité de surface, mars 1976. La direction du vent est indiquée par des flèches, et la zone intertropicale de convergence des vents par une ligne discontinue.

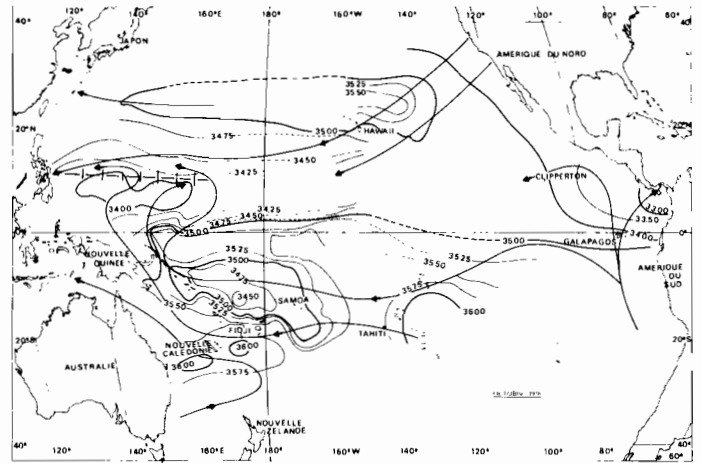


Figure 3  
Surface salinity, per mil, October 1978. Wind direction is marked by arrows, and the intertropical convergence zone of winds by a dotted line. Salinité de surface, octobre 1978. La direction du vent est indiquée par des flèches, et la zone intertropicale de convergence des vents par une ligne discontinue.

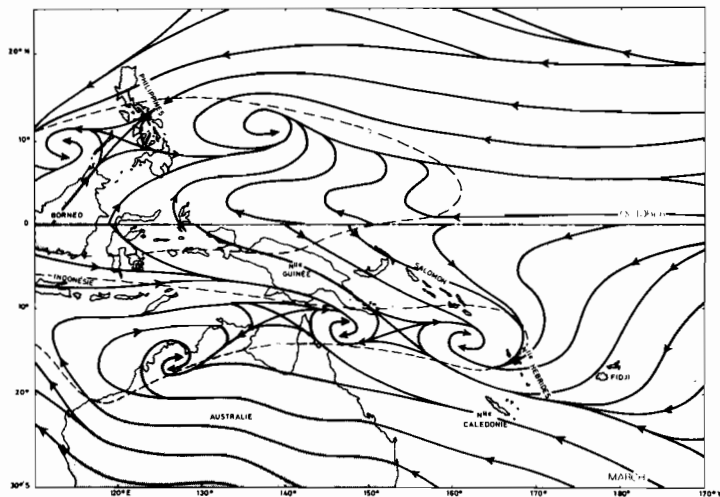


Figure 1  
Wind field and seasonal positions of the ITCZ marked by a wind speed inferior to 5 knots in the Western Pacific: in the upper part, the position of the ITCZ in October; in the lower part, the position of the ITCZ in March (from Atkinson, Sadler, 1970).

Champ de vent et positions saisonnières de la zone intertropicale de convergence des vents, caractérisée par un vent inférieur à 5 nœuds dans le Pacifique Occidental : en haut, position de la zone de convergence en octobre; en bas, position en mars (d'après Atkinson, Sadler, 1970).

In October (Fig. 3), the ITCZ is located at 10°N where it induces low salinity water by precipitations. South of the equator, the zone of low salinity is still present, but smaller than in March. Due to the equatorial upwelling, we find high salinity along the equator.

Thus, when the ITCZ moves from 15°S to 10°N, an equatorial upwelling usually occurs. This feature involves a type of surface circulation resulting from the mean dynamic heights relative to 1000 dbar calculated from the hydrographic casts gathered between 1956 and 1970 (Fig. 4). The Equatorial Current occurs along the equator. South of 5°S, two current systems exist (Donguy *et al.*, 1976), and are separated by the 180° meridian: the eastward countercurrents have not the same origin each side of 180°, and the transported waters are different (Donguy, Rotschi, 1970).

A schematic picture of the main surface stream lines (Fig. 5), according to the mean dynamic topography, shows the importance of the eastward countercurrents in

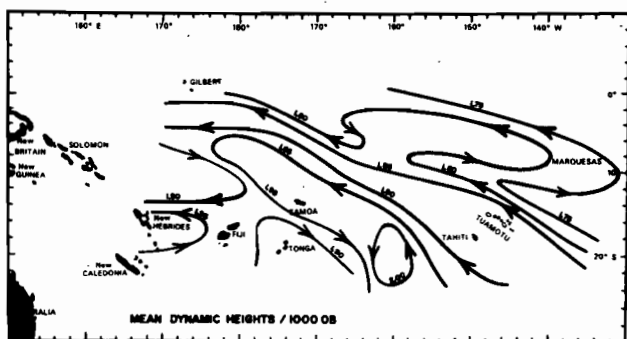


Figure 4  
 Mean surface dynamic heights in dynamic metres relative to 1000 dbar, in the South-Western Pacific.  
 Moyenne des hauteurs dynamiques de surface en mètres dynamiques par rapport à 1000 dbar.

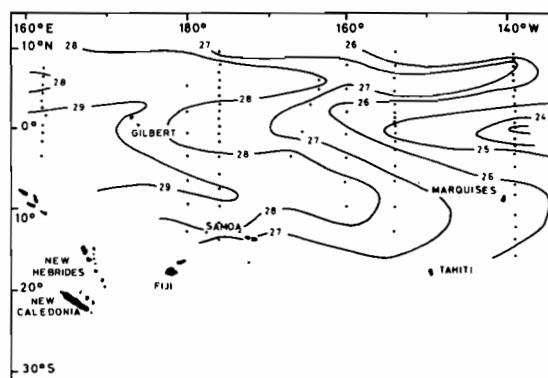


Figure 6  
 Heat content between the surface and 100 m depth in October-December 1961. The unit used is the 0-100 m mean temperature.  
 Contenu thermique entre la surface et 100 m de profondeur en octobre-décembre 1961. L'unité utilisée est la température moyenne de 0 à 100 m.

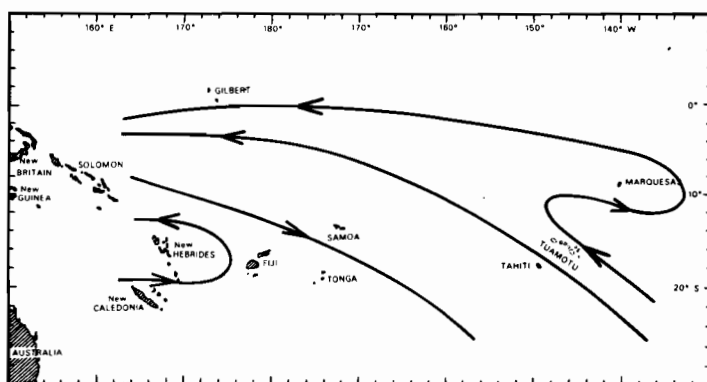


Figure 5  
 Schematic picture of the surface circulation in the South-Western Pacific in case of seasonal movement of the ITCZ.  
 Schéma de la circulation de surface dans le Pacifique Sud-Ouest en cas de mouvement saisonnier de la zone de convergence du vent.

the Western Tropical Pacific; in contrast, in the Central Tropical Pacific, the countercurrent seems to be only an oscillation of the Equatorial Current.

The distribution of the heat content into the first hundred metres is also an important feature of the hydroclimate. The unit used is the averaged temperature from the surface to a depth of 100 m. From NODC files, data was selected for a period just prior to the Austral summer and the Austral winter, when the movement of the ITCZ

occurs. The data gathered between October and December 1961 (Fig. 6), before the Austral summer shows an equatorial minimum of heat content due to the equatorial upwelling; west of 177°E, the heat content is over 28 units, with a maximum over 29 units. Those of the Equapac Expedition (August-September 1956) give the same distribution of the heat content. So, with a seasonal movement of the ITCZ and the presence of an equatorial upwelling, a high heat content is stored west of 180° between 10°N and 15°S; this heat pool is divided by the western part of the equatorial upwelling into two branches spreading eastward.

#### HYDROCLIMATIC CONDITIONS WHEN THE ITCZ IS LOCATED ON THE EQUATOR

Instead of the seasonal movement of the ITCZ, the latter is sometimes located on the equator, west of 180°, for several months, mainly from September to April, as showed by Figure 7.

During March 1976 (Fig. 2), in the South-Western Pacific, the ITCZ was located at 15°S and the equatorial upwelling was active. In the Eastern Equatorial Pacific,

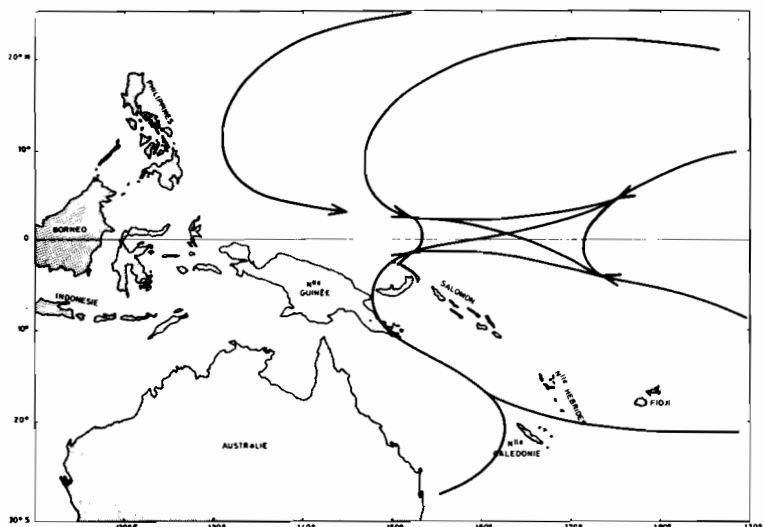
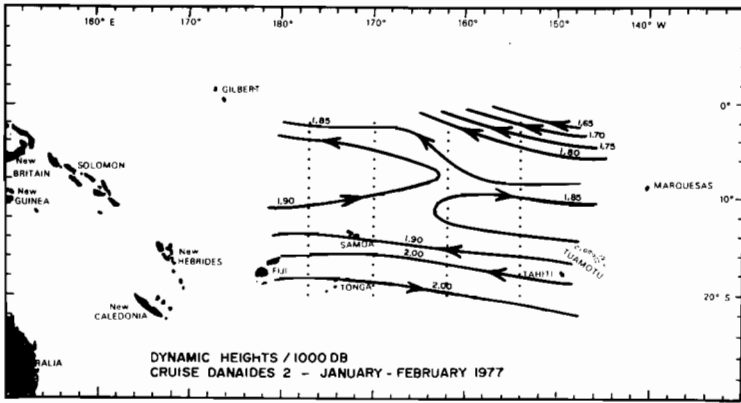


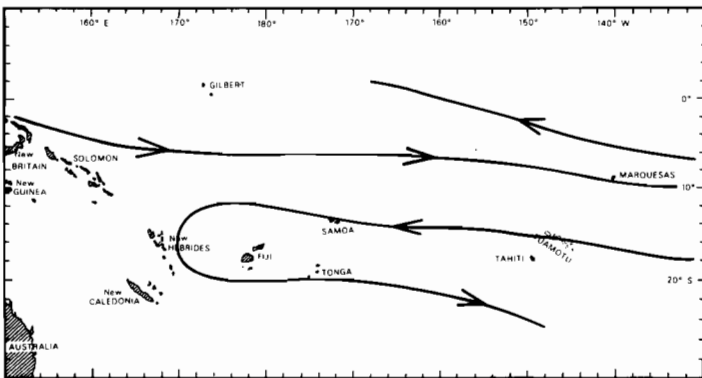
Figure 7  
 Wind field when the ITCZ is located on the equator during several months.  
 Champ de vent lorsque la zone intertropicale de convergence des vents est située sur l'équateur pendant plusieurs mois.







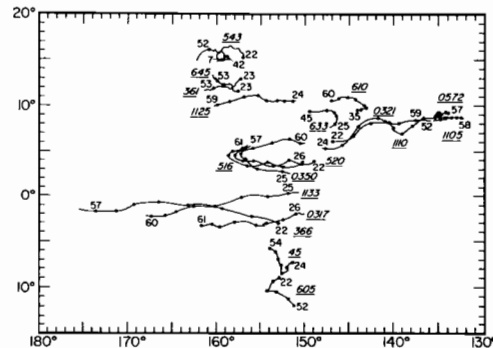
**Figure 11**  
Surface dynamic heights in dynamic metres relative to 1000 dbar, January-February 1977.  
Hauteurs dynamiques de surface en mètres dynamiques par rapport à 1000 dbar en janvier-février 1977.



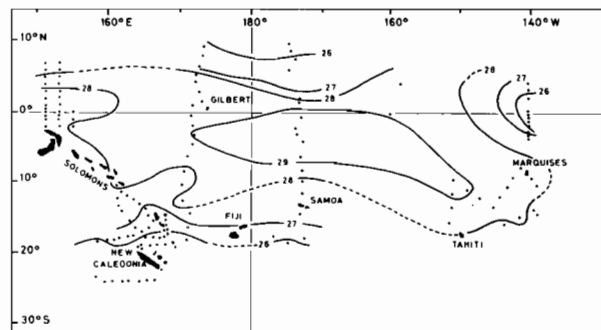
**Figure 12**  
Schematic picture of the surface circulation in the South-Western Pacific with the ITCZ on the equator.  
Schéma de la circulation de surface dans le Pacifique Sud-Ouest lorsque la zone de convergence des vents reste sur l'équateur.

shuttle experiment, as the surface salinity charts show for early 1978 the same hydroclimatic conditions than early 1977. Three drifting buoys show the presence of strong Equatorial Current, and one the presence at 10°S and 150°W of a weak South-Equatorial Counter Current (Fig. 13). To summarize on the area under study, there is, in this case, only one current system instead of two current systems when the ITCZ moves seasonally (Fig. 5). This feature is to be connected with the statements made by Wyrtki (1973), pointing out that, during the El Niño years, the countercurrents transport warm water from the Western to the Eastern Pacific.

The distribution of the heat content with the ITCZ located on the equator is also characteristic. After the strong 1957 El Niño, the heat distribution between the surface and 100 m depth from January 1958 to May 1958 (Fig. 14) shows a maximum (more than 29 units) in the Southern-Central Pacific from 170°E to 150°W (Héning, Donguy, in press). After the moderate 1976 El Niño, the heat distribution from November 1976 to March 1977 shows also the same features, but not spreading as much eastward as during 1958. This distribution is very different to the case of the ITCZ seasonal movement (Fig. 6). Instead of a location west of 180° and on each side of the equator, the heat pool lies south of the equator and mostly east of 180°. The consequences of such a shift of the heat pool may be important: a preliminary study leads to a possible influence on cyclone formation (Donguy *et al.*, 1979). The heat asymmetry between the north and the south hemisphere during the year following El Niño may also affect the climate.



**Figure 13**  
Trajectories of satellite tracked drifting buoy early 1978 in the South-Western Pacific, from W. C. Patzert. The number of the buoy is underlined, and the days are numbered from the 1st of January 1978.  
Trajectoires de bouées dérivantes suivies par satellite début 1978, dans le Pacifique Sud-Ouest, d'après W. C. Patzert. Le numéro de la bouée est souligné, et les jours sont comptés depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1978.



**Figure 14**  
Heat content between the surface and 100 m depth, January-May 1958. The unit used is the 0-100 m mean temperature.  
Contenu thermique entre la surface et 100 m de profondeur, janvier-mai 1958. L'unité utilisée est la température moyenne de 0 à 100 m.

## CONCLUSION

These features recorded during 20 years of observations in the South-Western Tropical Pacific are consistent with the hypothesis of an equatorial Walker Cell existence, as already suggested by Bjerknes (1969).

When the ITCZ moves seasonally, a large Walker Cell spreads along the equator from America to Indonesia.

This cell is at times broken, mostly after El Niño. Consequently in the Western Pacific, westerly winds prevail bringing rainfall and low salinity water. At the contact of the two cells, the ITCZ occurs and, due to the existence of the meridian Hadley cells, a drought appears in the tropical area. This hypothesis needs to be developed by theoretical work.

## REFERENCES

- Atkinson F. D., Sadler J. C., 1970. *Mean-cloudiness and gradient-level wind charts over the tropics*, Air Weather Service-United States Air Force, 15 p. + 38 charts.
- Bjerknes J., 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus*, **18**, 4, 820-829.
- Bjerknes J., 1969. Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific, *Mon. Weather Rev.*, **97**, 3, 163-172.
- Donguy J. R., Hénin C., 1976. Anomalous navifacial salinities in the Tropical Pacific Ocean, *J. Mar. Res.*, **34**, 3, 355-364.
- Donguy J. R., Hénin C., 1978 a. The navifacial salinity in the Tropical South-West Pacific Ocean, *Cah. ORSTOM sér. Océanogr.*, **16**, 2, 107-136.
- Donguy J. R., Hénin C., 1978 b. Hydroclimatic anomalies in the South Pacific, *Oceanol. Acta*, **1**, 1, 25-30.
- Donguy J. R., Rotschi H., 1970. Sur un courant Est dans le Pacifique Central Sud, *C. R. Acad. Sci. Paris, série D*, **271**, 869-872.
- Donguy J. R., Hénin C., Rougerie F., 1976. Les contre-courants dans le Pacifique Tropical Sud-Ouest, *Cah. ORSTOM sér. Océanogr.*, **14**, 1, 15-26.
- Donguy J. R., Bégaud S., Ebstein R., Calvez B., 1979. Température de la mer et formation des dépressions tropicales dans le Pacifique Sud, *Met. Mar.*, **103**, 51-55.
- Hénin C., Donguy J. R., 1980 Heat content changes within the mixed layer of the Equatorial Pacific Ocean, *J. Mar. Res.*, **38**, 4.
- Wyrtki K., 1973. Teleconnections in the Equatorial Pacific Ocean, *Science*, **180**, 66-68.



VARIATION OF THE PACIFIC NORTH EQUATORIAL  
COUNTERCURRENT OBSERVED BY SHIPS-OF-OPPORTUNITY

Gary Meyers  
Scripps Institution of Oceanography  
University of California  
La Jolla, California 92093, U.S.A.

D.R. McLain  
Pacific Environmental Group  
NOAA/NMFS Southwest Fisheries Center  
Monterey, California 93940, U.S.A.

J.R. DONGUY  
ORSTOM Centre de Noumea  
B.P. A5  
Noumea, New Caledonia

ABSTRACT

Approximately 17 merchant vessels were used during 1979 and 1980 to monitor the tropical Pacific subsurface temperature by expendable bathythermograph (XBT). The ships' routes are shown in Figure 1. The number of equatorial crossings on each route is indicated within parentheses. The supporting institutions and responsible oceanographers are given in Table 1. Baroclinic structure observed by these ships in the vicinity of the Pacific North Equatorial Countercurrent is discussed in this paper. One ship provided approximately bi-monthly sections across the current in the western Pacific on the route between Noumea and Japan. Nine ships provided approximately weekly sections across the current in the central Pacific south of Hawaii. The temporal evolution in strength of the Countercurrent is described in this paper and its variability in the western and central Pacific is compared.

Table 1. Institutions and oceanographers in charge of the merchant ships taking XBT observations on routes shown in Figure 1.

Route	Institution	Oceanographer in Charge
New Caledonia/Tahiti to Hong Kong/Japan/Panama/California	ORSTOM-Noumea	J.R. Donguy
Australia/New Zealand to U.S. West Coast	FNOC-Monterey	P. Stevens
Australia/Samoa/Tahiti to U.S. West Coast	NOAA-Monterey*	D. McLain

\* Scripps Institution of Oceanography since 1980.

## 1. WESTERN PACIFIC - NOUMEA/JAPAN SECTION

Sixteen meridional temperature sections were obtained by the merchant vessel Hachiyo Maru near 157°E from June 1979 to May 1980. Four sections (Fig. 2) show the major changes in baroclinic structure observed during the year. The North Equatorial Countercurrent appears in these sections between a trough in the thermocline topography near 3°N and a ridge near 8°N. The trough and ridge are weakly developed in the section of 27 July - 2 August 1979 and strongly developed in the section of 8-16 February 1980. The latitude of each XBT drop is marked at the bottom of each section and shows that the typical spacing between drops is approximately 1° latitude.

The strength of the Countercurrent was monitored by the meridional slope of the 20°C isotherm between the trough and ridge, using a simple two-layer approximation (Wyrski and Kendall, 1967). The depth of this isotherm at the ridge ( $D_n$ ) or trough ( $D_s$ ) was determined from the 16 temperature sections, as well as the mean depth  $\bar{D}$  and the difference  $\Delta D$  (Fig. 3). A low-frequency signal has been observed by the Hachiyo Maru in spite of the data gap from December to February. Depth at the trough and ridge varies almost exactly out of phase, while the mean depth remains nearly constant. The current strength as indicated by  $\Delta D$  varied from weak during June-July 1979 to strong during December-February 1979/80, then weak again during April-June 1980.

Although the South Equatorial Countercurrent (5°-10°S) is beyond the scope of this study, it is interesting to contrast it with its northern counterpart. The eastward countercurrent shear in the southern hemisphere appears distinctly in the thermocline above 20°C (Fig. 2), while in the northern hemisphere the shear involves virtually all of the main thermocline down to 9°C. The southern current strengthens after February while the northern current weakens.

## 2. CENTRAL PACIFIC AUSTRALIA (VICINITY) TO U.S. WEST COAST

The same technique was used to analyze 35 temperature sections obtained by 9 ships in the central Pacific between January 1979 and April 1980. The index ( $\Delta D$ ) of Countercurrent strength indicates a weak current during April-June 1979, followed by a strong current during September-December, then weak again after March 1980 (Fig. 4). It is remarkable that there is almost no difference in phase of Countercurrent strength between the central and western Pacific. The west appears to lag by 1 or 2 months, but this difference may not be significant due to the poorly resolved peak in the west and the large scatter of values near the peak in the central region. Note that the central Pacific sections are taken over a wide band of longitude from 130°W to 170°W (Fig. 4, bottom). The mean east/west slope of the thermocline during 1979/80 was used to project all the estimates to 155°W. This projection alters  $D_n$  and  $D_s$  by 1 to 20 m but does not change the estimate of  $\Delta D$ .

Temperature sections taken by merchant vessels have the deficiency that XBT drops are taken at somewhat irregular intervals. The number of drops per day ranges from 2-6, depending on the agreement between ships' officers and

the oceanographer in charge. The central Pacific sections were divided into two groups having a latitude spacing of approximately  $1^{\circ}$  or  $2^{\circ}$  latitude, and plotted in Figure 4 with different symbols. Nearly half of the sections have  $2^{\circ}$  spacing, which does not always adequately resolve the Countercurrent. These sections give a slightly smaller estimate of Countercurrent strength than the sections with  $2^{\circ}$  spacing during the time of peak strength from October to December, because the thermocline ridge or trough falls between drops.

### 3. COMPARISON TO HAWAII/TAHITI SHUTTLE

Temperature sections across the Countercurrent at approximately weekly intervals were obtained near  $155^{\circ}\text{W}$  by research vessels and aircraft during the Hawaii/Tahiti Shuttle experiment. Preliminary results have been described in a recent article by Wyrтки et al. (1981). The index of Countercurrent strength  $\Delta D$  averaged monthly from the Shuttle observations is compared to the similar index from ships-of-opportunity in Figure 5. A number by each plotted point indicates the month of 1979 for the averaged values. The monthly averages of Shuttle and ship-of-opportunity observations are highly correlated (0.94). A comparison of individual ship-of-opportunity sections to weekly averages of the Shuttle data (not presented) was also highly correlated (0.81). The high correlation clearly is due to the regular annual signal (Meyers, 1975, 1979) in both data sets. Past studies have shown that interannual fluctuations in the equatorial current system (Wyrтки, 1978, 1979; Donguy and Henin, 1981) are generally more energetic than the annual signal. The RMS deviation between monthly averaged  $\Delta D$  from Shuttle and ship-of-opportunity observations is approximately 5 m, much smaller than the interannual fluctuations. This small error increases our confidence that XBT ships-of-opportunity can be used to economically monitor both annual and interannual variation in baroclinic structure of the tropical Pacific.

### 4. OBJECTIVE ANALYSIS XBT DATA RECEIVED AT FNOC BY RADIO

Some ( $\approx 50\%$ ) of the XBT observations from the ships-of-opportunity during 1979/80 were sent to FNOC, Monterey, by radio on the global telecommunications system. They were merged at Monterey with radio reports from naval and research vessels. A linear least-squares interpolation scheme (objective analysis) was used to map subsurface temperature throughout the tropical Pacific using the radioed data. Data from the Hawaii/Tahiti Shuttle Experiment were first eliminated and held out as a high quality control case to test the effectiveness of the interpolation scheme and ship-of-opportunity network.

Interpolated results are shown for the temperature anomaly at 160 m. The anomaly is the departure from the long-term annual mean temperature. This allows annual variations, if present, to appear in the interpolated data. The mean was estimated from all XBT and MBT observations in the FNOC archives as of 1975, the majority of drops taken during 1950 to 1970. After removing the mean from the temperature at 160 m for each XBT cast, the residuals for each month were interpolated to a  $2^{\circ}$ -latitude by  $10^{\circ}$ -longitude grid between  $30^{\circ}\text{N}$  and  $20^{\circ}\text{S}$ , using a Gandin-type objective analysis scheme. The scan radius for accepting observations at a grid point was  $\pm 15^{\circ}$  longitude,  $\pm 3^{\circ}$  latitude, and

± 0.5 month. The objective analysis was not attempted at grid points with less than 2 observations within the scan radii. The spatial autocorrelation function used was an exponential decay with e-folding length of 1500 km east/west and 500 km north/south. The temporal autocorrelation function was assumed to be unity uniformly up to time lags of 0.5 month. The signal-to-noise ratio was unity, which is a conservatively small estimate. This permits a considerable amount of smoothing of the data.

## 5. TEMPERATURE ANOMALY AT 160 M

The mapped anomaly for each month shows coherence in sign over very large areas (Fig. 6), much larger, in fact, than the scan radii. There are two possible explanations for these large-scale anomalies. The first possibility is that the mean value used to remove climatology from the observations has a bias of large spatial scale. We do not think this is the case, but it will not be proven until the mapped anomalies show oscillations in sign throughout the region during the course of several years. The second possibility is that the large-scale anomalies are truly an indication of ocean variability. This will become more believable as reasonable, physical interpretation of them is achieved.

The preliminary analysis is encouraging. Some of the anomalies evolve slowly in time. For example, variation of the North Equatorial Countercurrent already discussed in the analysis of temperature sections appears on the maps. The weak current (westward anomaly) in June 1979 (Fig. 6, top) has warm water on its northern side near 10°N, in accordance with the "thermal wind" relation. The strong current (eastward anomaly) in November 1979 (Fig. 6, middle) has warm water on its southern side south of 3° to 7°N. An interesting evolution of the anomaly begins in November 1979, with the warm zone on the equator in the central Pacific near 140°W. An earlier map (not presented) shows it entering the region from the east. Lack of data in the radio reports does not allow connecting it to the region off Central and South America during earlier months, as seen on the June 1979 map. From the Central Pacific this warm zone progresses westward and southward across the equator until it reaches New Guinea in February 1980 (Fig. 6, bottom). We hope that a more complete description of this evolution of the temperature field, particularly in the eastern Pacific, will be possible after all of the observations from the ORSTOM, FNOG, and NOAA (PEG) programs, as well as data from the Shuttle and EPOCS programs, are merged with the other radio reports.

## 6. FUTURE RESEARCH PLANS

Our future research plans are: (1) Make a careful comparison of these preliminary maps with results from the Shuttle, in order to fine-tune the statistical structure used in the interpolation scheme; (2) map the heat content of 0/400 m, sea surface temperature and mixed layer depth throughout the tropical Pacific using the largest possible merger of XBT data; (3) relate the variability to the wind field.

In the longer run, we intend to merge the analysis of the XBT records with sea level records. Historical data indicate that sea level and dynamic

height are highly correlated (Fig. 7), at least in the tropical Pacific. Dynamic height in turn can be accurately estimated from the vertical heat integral in this region because of the tight T-S relationship. Ultimately, we hope that this sea level mapping effort can be extended into the realm of smaller, synoptic space and time scales through the inclusion of new observations becoming available in the satellite era, such as current and temperature monitored with tracked drifters (Patzert, this volume) and sea level with the satellite altimeter.

#### REFERENCES

- Donguy, J.R., and C. Henin (1981): Two types of hydroclimatic conditions in the South-western Pacific. Oceanol. Acta, 4, 57-62.
- Meyers, G. (1975): Seasonal variation in transport of the Pacific North Equatorial Current relative to the wind field. J. Phys. Oceanogr., 5, 442-449.
- Meyers, G. (1979): On the annual Rossby wave in the tropical North Pacific. J. Phys. Oceanogr., 9, 663-674.
- Wyrтки, K. (1978): Monitoring the strength of equatorial currents from XBT sections and sea level. J. Geophys. Res., 83, 1935-1940.
- Wyrтки, K. (1979): The response of sea surface topography to the 1976 El Niño. J. Phys. Oceanogr., 9, 1224-1231.
- Wyrтки, K., E. Firing, D. Halpern, R. Knox, G.J. McNally, W.C. Patzert, E.D. Stroup, B.A. Taft, and R. Williams (1981): The Hawaii to Tahiti Shuttle Experiment. Science, 211, 22-28.
- Wyrтки, K., and R. Kendall (1967): Transports of the Pacific equatorial countercurrent. J. Geophys. Res., 72, 2073-2076.



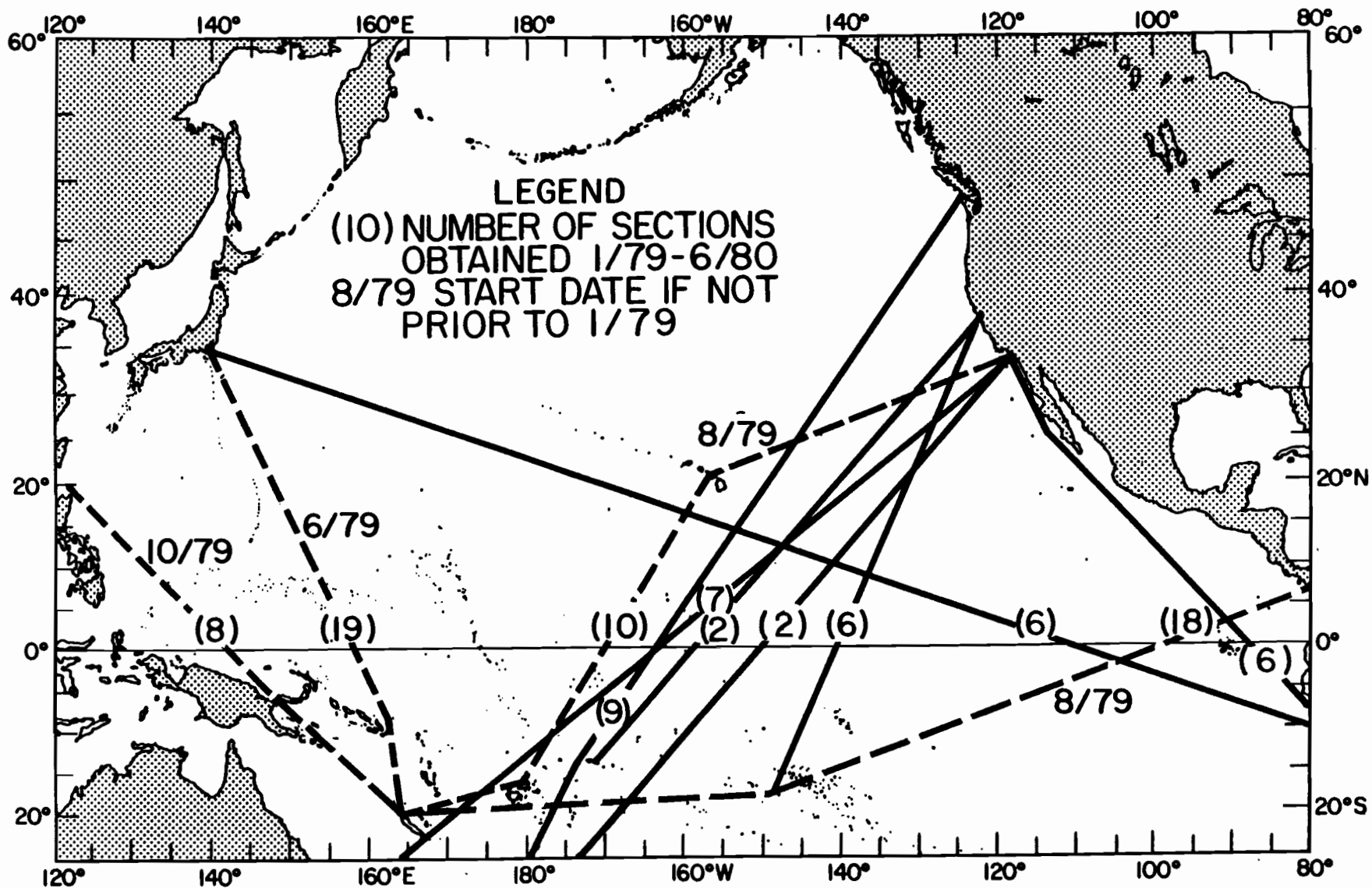


Figure 1. XBT sections by ships-of-opportunity January 1979 to June 1980. Number of sections obtained given in parentheses. The start date is indicated on sections which did not begin prior to January 1979. Dashed lines give routes serviced by ORSTOM-Nooumea, solid lines routes serviced by FNOC or NOAA, Monterey.

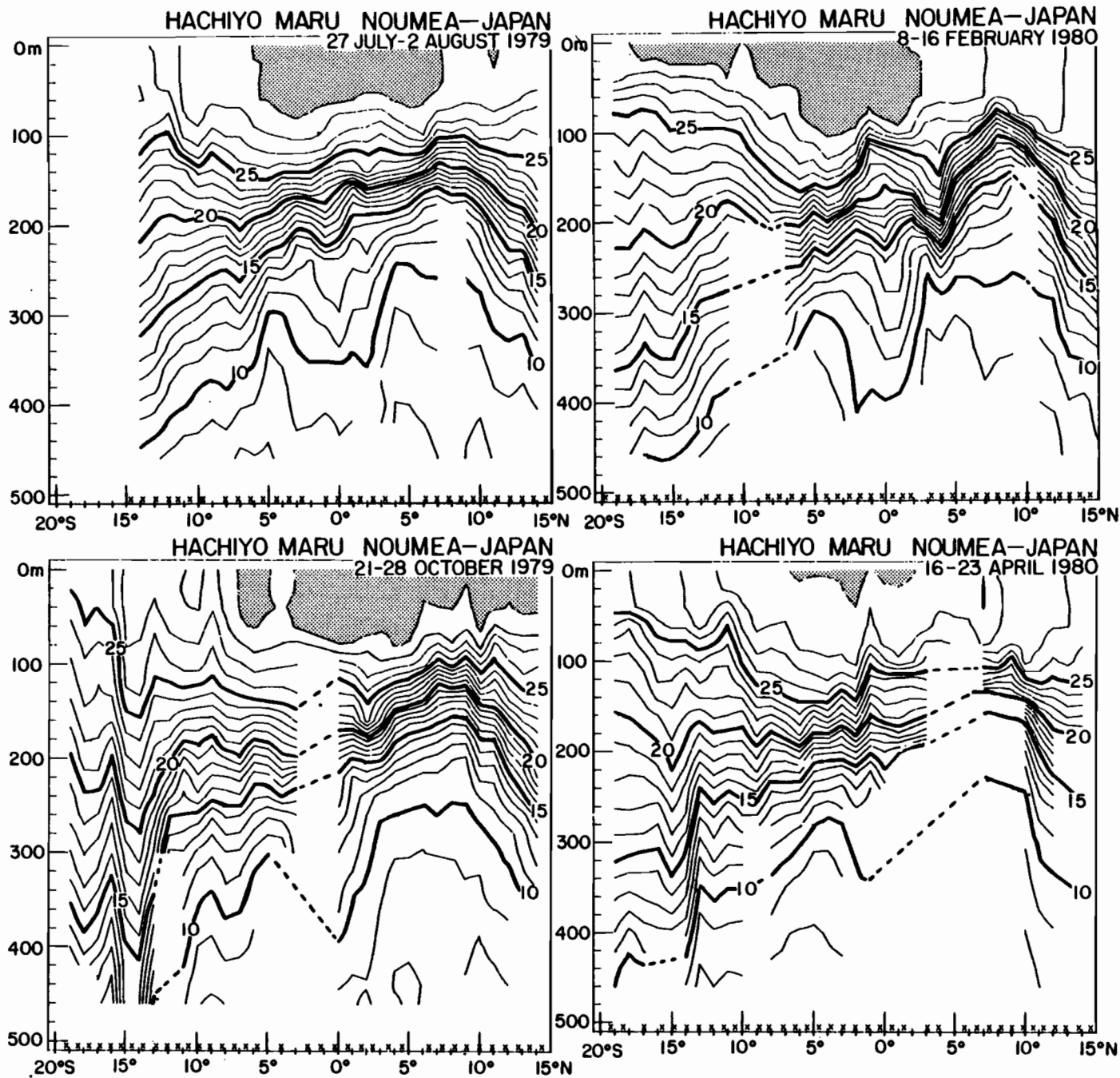


Figure 2. Meridional temperature sections ( $^{\circ}\text{C}$ ) near  $157^{\circ}\text{E}$  obtained by Hachiyo Maru between Noumea, New Caledonia, and Japan. Temperature exceeding  $29^{\circ}\text{C}$  is stippled. Latitude of XBT drops indicated by x at bottom.

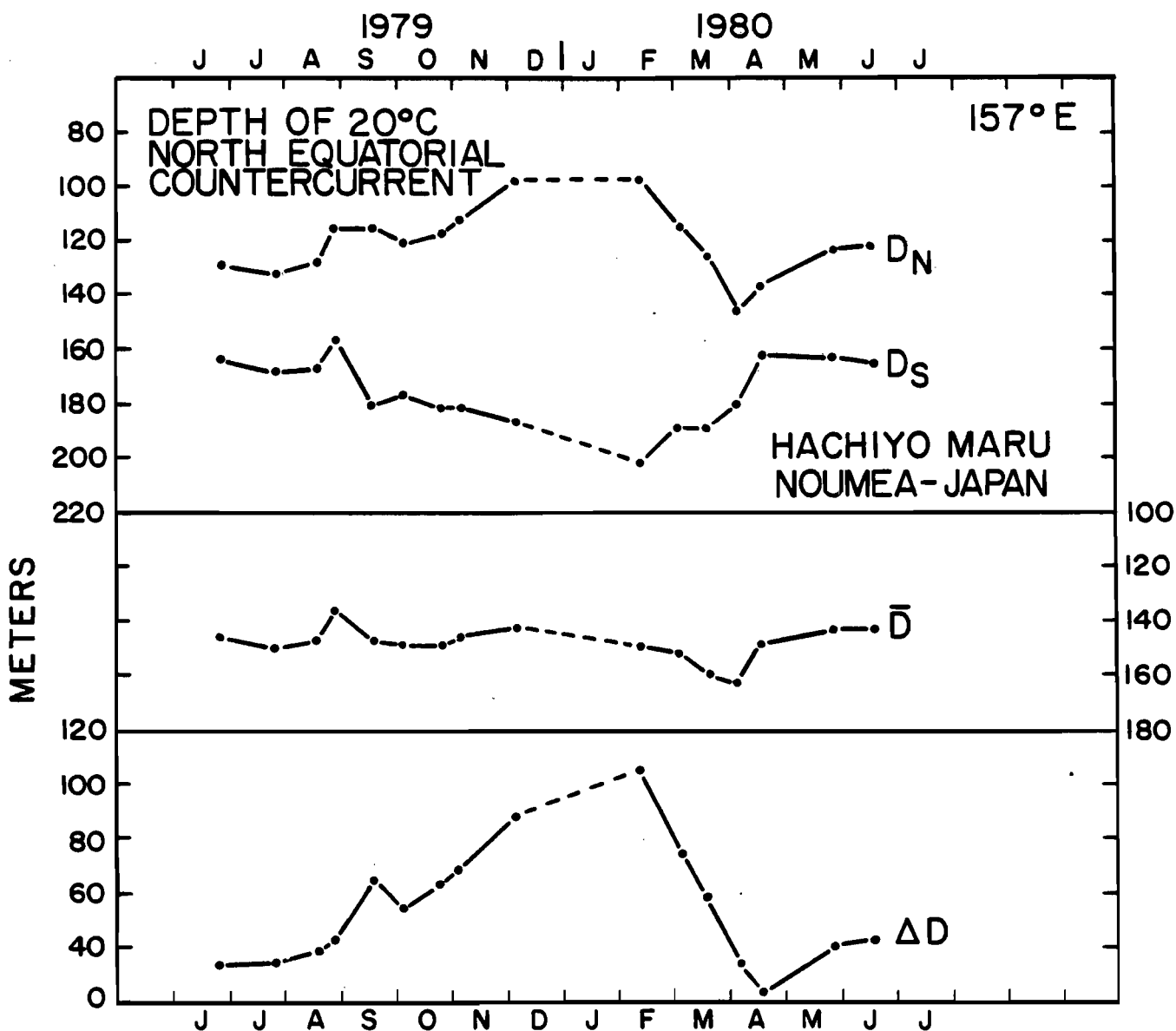


Figure 3. Development of the slope of the 20°C isotherm across the North Equatorial Countercurrent-Western Pacific. The depths of the 20°C isotherm at the northern and southern flanks of the current are indicated by  $D_N$  and  $D_S$ , respectively. The mean depth is  $\bar{D}$  and the difference is  $\Delta D$ . All temperature sections crossed the Countercurrent near 157°E.

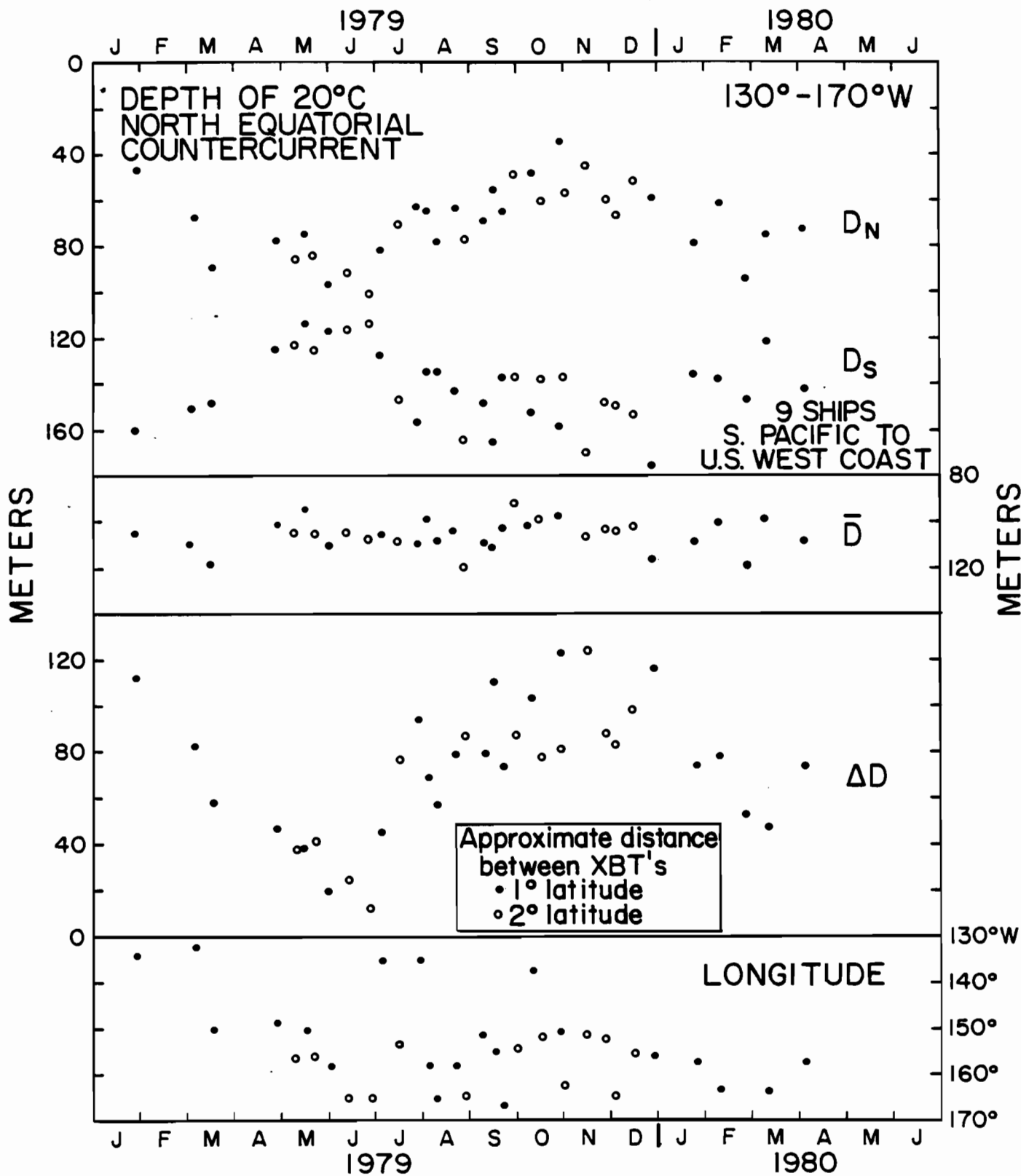


Figure 4. Same as Figure 3 - Central Pacific. Temperature sections crossed the Countercurrent between 130° and 170°W (bottom).

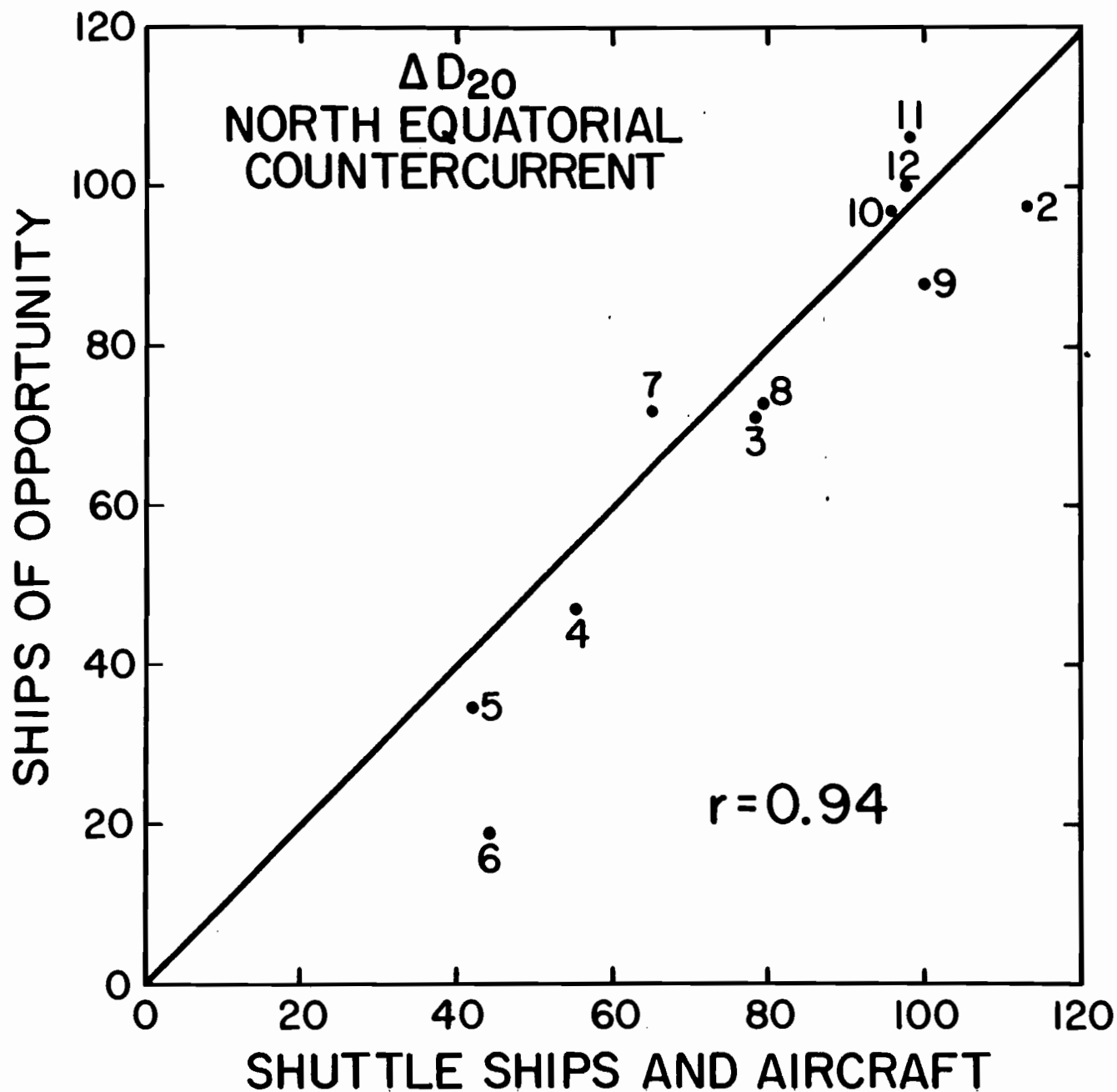


Figure 5. Slope of the 20°C isotherm across the North Equatorial Counter-current observed by ships-of-opportunity, compared to slope observed by research ships and aircraft during the Hawaii-to-Tahiti Shuttle (Wyrтки et al., 1981). Values were averaged monthly. Month of 1979 indicated for each point.

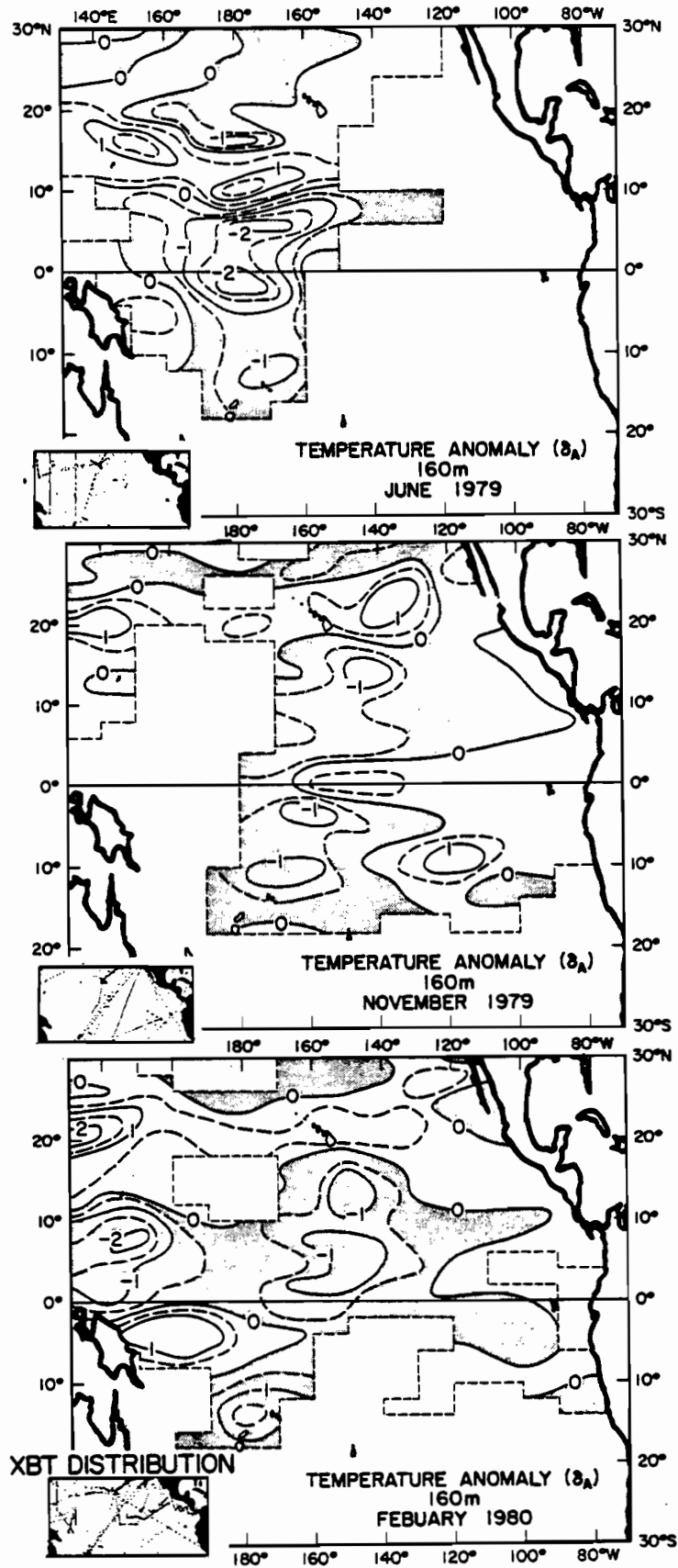


Figure 6. Deviation ( $\delta_A$ ) from annual long-term mean temperature at 160 m. Cold anomaly shaded, warm anomaly clear, insufficient data blank. Distribution of XBT stations received by radio at FNOC given by inset at lower left.

# SEA LEVEL AND DYNAMIC HEIGHT WESTERN TROPICAL PACIFIC

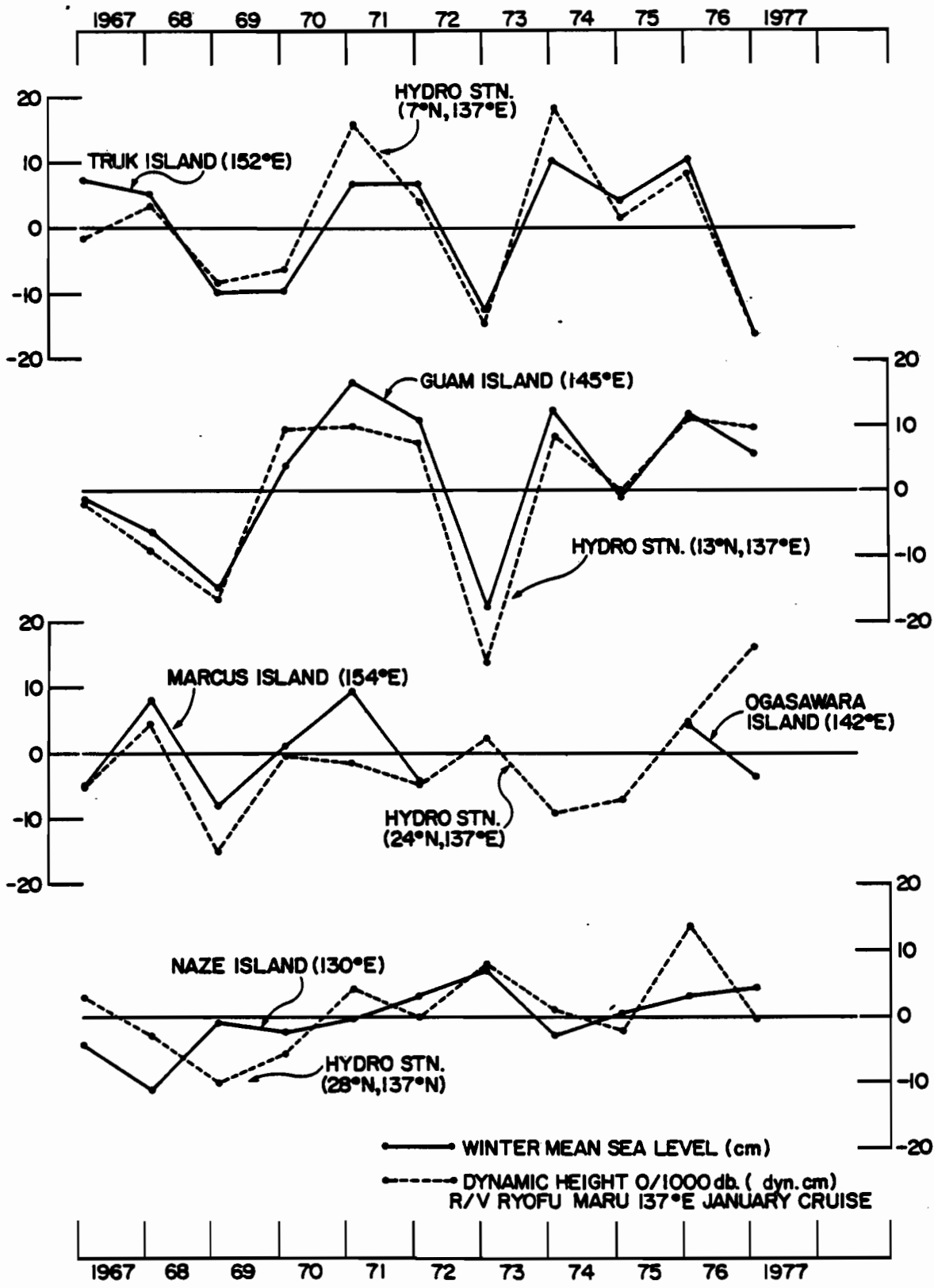


Figure 7. Winter mean sea level observed at islands compared to dynamic height 0/1000 db observed during the January cruise of R/V Ryofu Maru along 137°E, 1967 to 1977.





## SEXUAL CYCLE OF THREE COMMERCIALY IMPORTANT HOLOTHURIAN SPECIES (ECHINODERMATA) FROM THE LAGOON OF NEW CALEDONIA

*Chantal Conand*

### ABSTRACT

The population and reproductive biology of three commercially important holothurian species, *Theleota ananas*, *Microthele nobilis* and *Microthele fuscogilva*, were studied from the lagoon near Noumea, New Caledonia. Samples were taken at approximate monthly intervals by free or scuba diving at certain set points. By examining the morphology and microscopic anatomy of the gonads, a five-stage maturity scale was defined. Simultaneous observation of variations of the gonad index, percentages of different maturity stages and individuals of undetermined sex, made it possible to define the reproductive cycle of these species. The time of gonad growth, maturation, spawning, post-spawning and resting have been related to the annual sea temperature cycle. *Theleota ananas* and *Microthele fuscogilva* reproduce in the warm season, whereas *M. nobilis* reproduces during the cold season. The fecundity of *M. nobilis* is higher than that of the other two species. The length and weight at first sexual maturity have been defined.

Certain species of holothurians (Echinodermata) are harvested in the shallow waters of the Indo-West Pacific region. They are processed into trepang or bêche-de-mer, a delicacy amongst some oriental populations. This skilled activity was practiced in New Caledonia during the nineteenth and at the beginning of the twentieth centuries and is becoming popular once more (Conand, 1979). Similar renewed interest is also evident in other countries (Sachithanathan, 1972; Motet, 1976; Gentle, 1979; Anonymous, 1979).

Despite their abundance in coral reef communities, little is known about the biology and ecology of holothurians and most information is found in taxonomic and faunal studies (Bakus, 1973). With the intention of management of this resource, population dynamics of the principal commercially exploitable species should be studied. Approximately 10 species may be harvested on the coral-reef complex of New Caledonia; they can be classified according to the commercial value of the processed products. Three species produce a high quality product: the prickly redfish, *Theleota ananas* (Jaeger, 1883) and the black and white forms of the teatfish, *Holothuria (Microthele) nobilis* (Selenka, 1867) and *Holothuria (Microthele) fuscogilva* (Cherbonnier, 1980), (Fig. 1).

*T. ananas*, belonging to the Stichopodidae family, is widely distributed in the tropical Indo-West Pacific region (Mitsukuri, 1912; Clark and Rowe, 1971). In former times it was extremely popular for the preparation of bêche-de-mer (Clark, 1921; Panning, 1944).

The two forms of the teatfish are clearly distinguished by fishermen from certain Pacific islands (Fiji, Kiribati, Papua New Guinea) who call them by different names. The black form is evenly colored except in the case of small individuals which have cream or orange colored spots (Fig. 1). The white form varies in color from brown to gray or cream, roughly spotted with brown. The black form has cuvierian tubules. Apart from these features, the structure of the anal papillae and differences in the morphology of the spicules have made it possible to distinguish between the black form, *Microthele nobilis*, and the white form, *Microthele fuscogilva* (Cherbonnier, 1980).

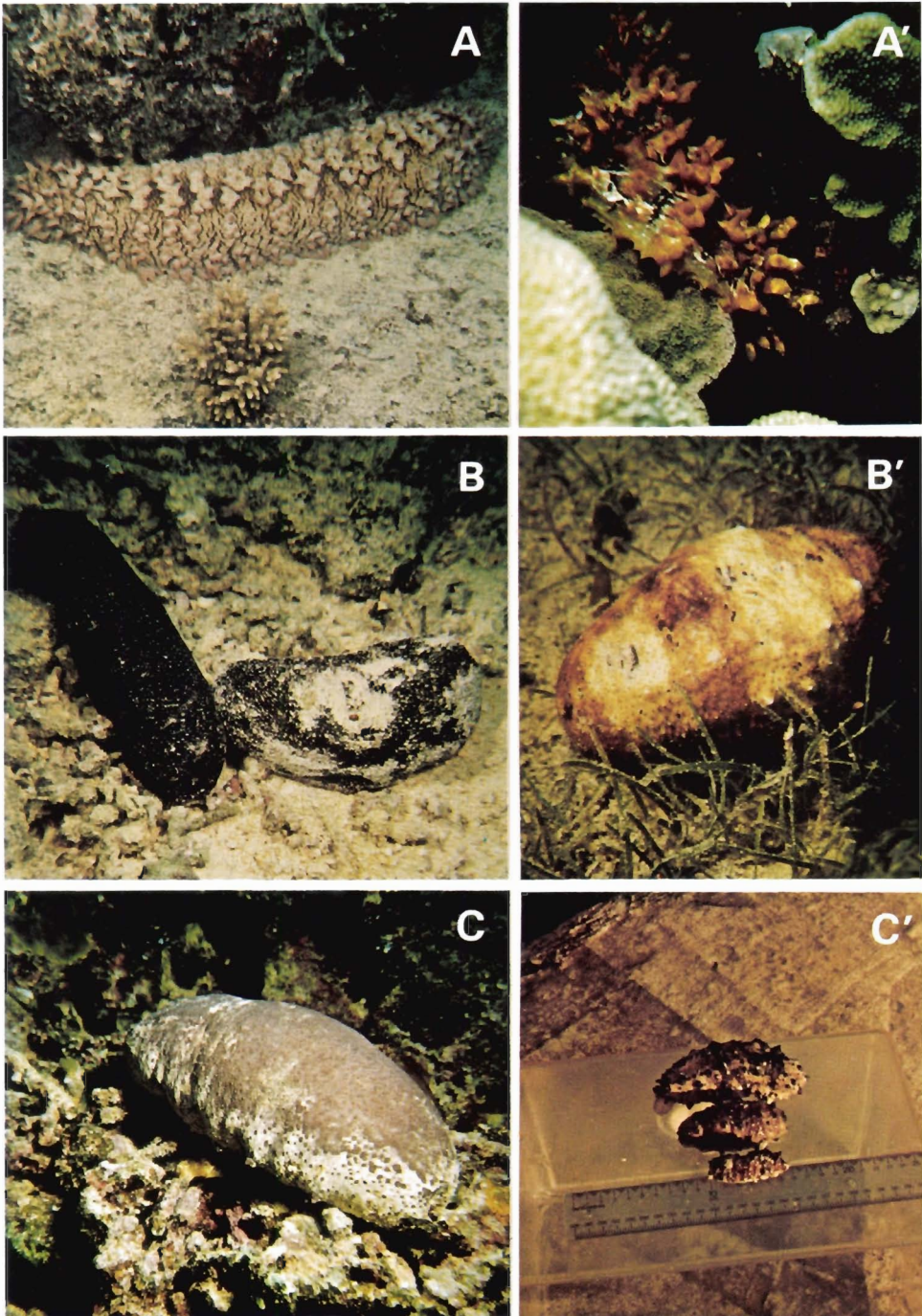


Figure 1. Some holothurian species of commercial interest: A, *Thelenota ananas*, adult; A', *T. ananas*, young specimen; B, *Microthele nobilis*, adult; B', *M. nobilis*, young form; C, *Microthele fuscogilva*, adult; C', *M. fuscogilva*, young form (from Fiji).

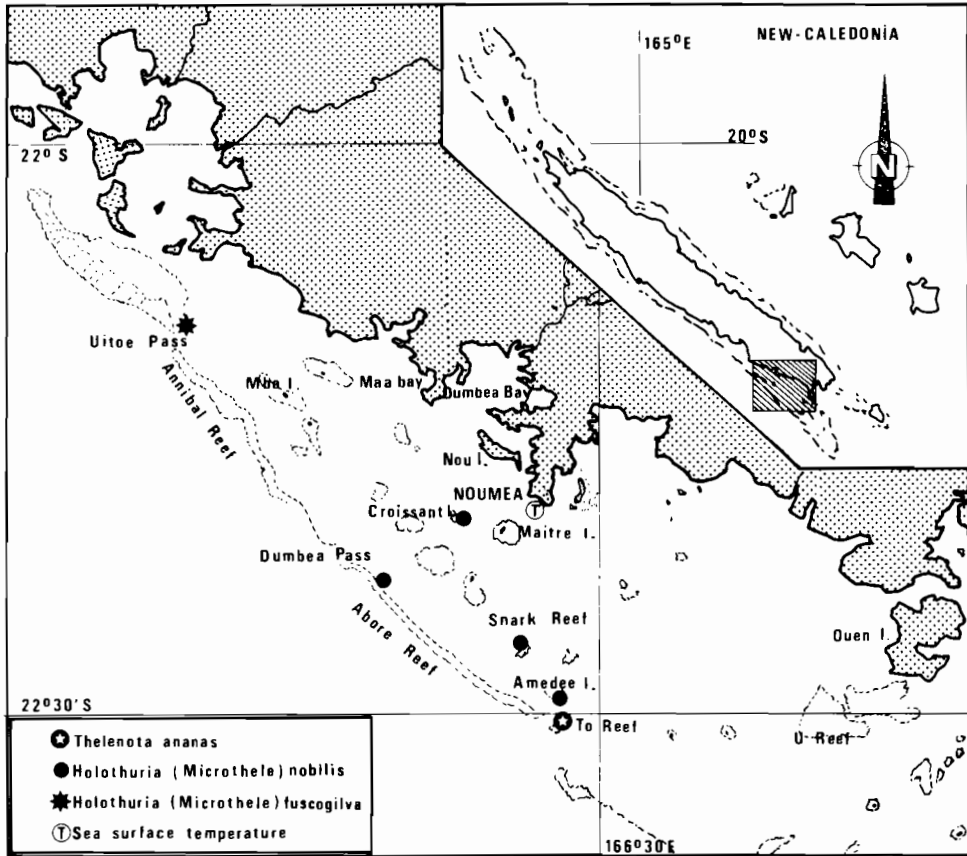


Figure 2. Sampling sites.

These species were studied to define the characteristics of their populations and their reproductive biology. Data published on the reproductive habits of aspidochirote holothurians show wide variations between species and localities (Booolootian, 1966); the few studies already undertaken in tropical waters describe diverse reproductive cycles (Krishnaswamy and Krishnan, 1967; Pearse, 1968; Harriot, 1980).<sup>1</sup>

## METHODS

Some aspects of the distribution of the abovementioned species have already been studied (Intes and Menou, 1979), resulting in the selection of zones of abundance. These species were collected from lagoon sites near Noumea (Fig. 2) at approximate monthly intervals from October 1978 until June 1980, except for the white teatfish which was collected every 2 months. *Thelenota ananas* was sampled at To Reef site, *Microthele nobilis* at the Amédée lighthouse, Croissant Islet and the Aboré and Snark reefs and *Microthele fuscogilva* at the Uitoé pass.

Individuals were generally scattered, making density assessment by quadrat or transect difficult. Indirect density measurements could be obtained during the dive by assessing the Catch Per Unit Effort (CPUE). The unit adopted was the number of individuals collected per diver per hour.

<sup>1</sup> The ecology of holothurian fauna of Heron Reef and Moreton Bay. M.Sc. thesis, University of Queensland, unpublished.

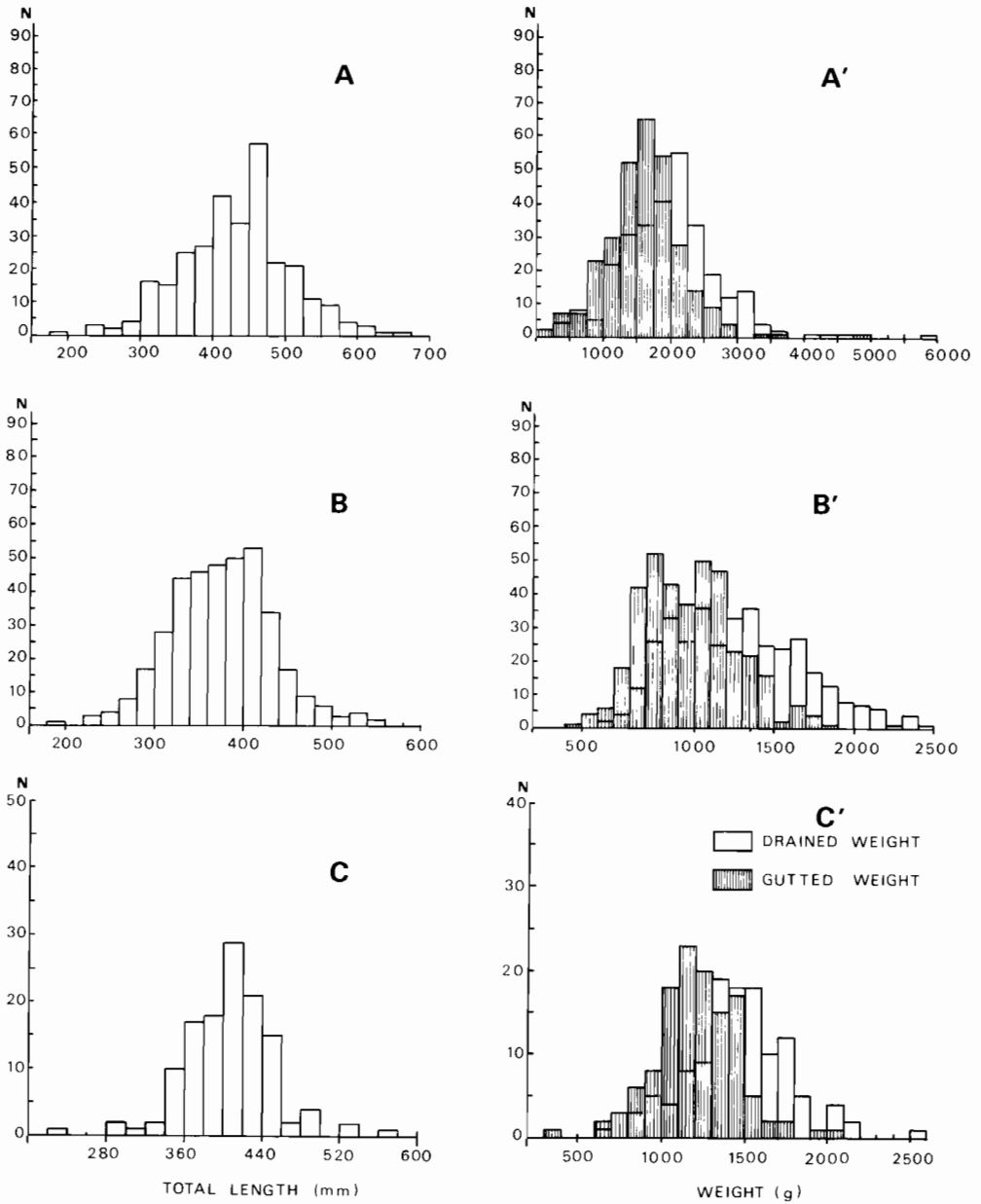


Figure 3. Biological characters in a population of *T. ananas*: A, Total length; A', Weights. *M. nobilis*: B, Total length; B', Weights. *M. fuscogilva*: C, Total length; C', Weights.

Roughly 20 specimens were sampled during each skin or scuba dive. They were transported to the laboratory in sea-water tanks containing magnesium chloride to relax them and were kept overnight in cold storage at a temperature of 4°C. The sample was examined on the following day, recording: total length (TL) to the nearest 5 mm, measured dorsally from mouth to anus by means of flexible ruler; total weight (TW) to the nearest 5 g; drained weight (DW) to the nearest 5 g following the opening of the body and the removal of coeliac water; gonad weight (G) to the nearest 0.1 g; gutted weight (GW) to the nearest 5 g following removal of gonads, and alimentary canal and respiratory trees.

Table 1. Frequency distribution of measured characters (n = sample size, R = range of the values, m = mean, SD = standard deviation)

	<i>Thelenota ananas</i>				<i>Microthele nobilis</i>				<i>Microthele fuscogilva</i>			
	n	R	m	SD	n	R	m	SD	n	R	m	SD
TL (mm)	298	180–670	430	75	377	190–550	370	58	125	230–570	401	46
TW (g)	265	220–6,250	2,180	854	373	390–4,550	1,878	654	108	1,005–3,600	2,111	530
DW (g)	290	205–5,850	1,979	723	367	275–2,410	1,269	409	120	685–2,590	1,464	308
GW (g)	298	175–4,800	1,600	565	375	235–1,875	963	290	124	320–2,000	1,209	253

Table 2. Relations between characters (i = confidence interval at 0.95 level)

x	y	<i>Thelenota ananas</i>				<i>Microthele nobilis</i>				<i>Microthele fuscogilva</i>			
		d.f.	r	Equation	i	d.f.	r	Equation	i	d.f.	r	Equation	i
(1) TL	DW	288	0.84	$y = 230.52e^{0.0048x}$	0.0045–0.0051	363	0.69	$y = -1,451.86 + 7.34x$	6.81–7.87	118	0.67	$y = -1,366.1 + 700x$	600–800
(2) GW	DW	288	0.98	$y = -74.59 + 1.28x$	1.25–1.31	365	0.96	$y = -87.69 + 1.41x$	1.37–1.45	118	0.97	$y = -96.61 + 1.28x$	1.23–1.33
(3) TW	DW	259	0.97	$y = 92.79 + 0.86x$	0.83–0.89	363	0.82	$y = 94.79 + 0.62x$	0.59–0.65	104	0.78	$y = 292.74 + 0.43x$	0.38–0.48

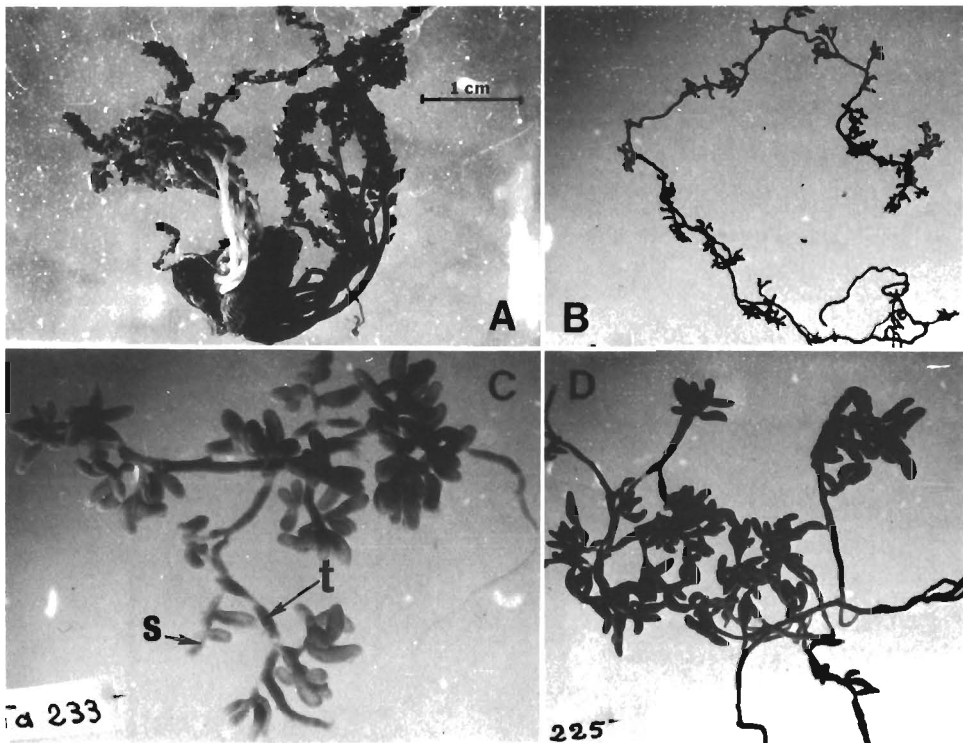


Figure 4. Gonad macroscopic features of *T. ananus*: A, sex undetermined; B, one tubule of male gonad at stage V; C, (lower left) portion of female tubule at stage IV; D, (lower right) portion of a male tubule at stage IV; s, saccule; t, tubule.

Frequency distributions of these characters were established for the 298 harvested individuals of *T. ananus*, 377 *M. nobilis* and 125 *M. fuscogilva*. The relationships between the characters, considered as independent variables, were investigated by regression and correlation analysis.

To study the sexual cycle, the gonads were preserved in buffered formalin at 7% dilution. Since a histological study was considered to be too time consuming, the method used to define the sexual stages of certain fish (Conand, 1975) was employed. This method combines the notation of macroscopic characters of form, color and consistency with the microscopic observation of a fragment of gonad preserved in formalin. Holothurian gonads are composed of tubules, a part of which was examined, opened and spread onto a hollow plate to reveal the sex. In the case of females, the oocyte diameters were measured by means of an ocular micrometer in order to establish their frequency distribution. These approaches permitted five stages of sexual maturity to be defined for each species.

The gonad index (GI) was expressed as the ratio of gonad weight to drained weight. The mean value was calculated for each sample, as well as the confidence limits at the probability level of 0.90. Results were obtained by computer processing.

Mean bimonthly and monthly sea water temperatures were calculated from daily measurements at the Noumea-Anse Vata coastal station (Fig. 2).

The size at first sexual maturity, or size at which an individual may reproduce for the first time, is an important parameter for stock management, but few data are available for holothurians (Choe, 1963; Rutherford, 1973; Harriot, 1980).<sup>1</sup> A method previously applied to fish populations (Conand, 1975), involving construction of a plot of the percentage of mature individuals in each size class, was employed. The percentage of individuals in maturity stages III, IV and V were recorded in classes of drained weight (DW), using both the entire sample and a sample which excluded the resting period, since the number of undetermined individuals was found to be maximal at this time. The size classes at which 0% and 100% of the individuals are mature were determined on the curve. The point on the curve at which 50% of the size class are sexually mature ( $DW_{50}$ ) may be taken as an index of the size at first sexual maturity. This method assumes that the population consists of a single age class, or

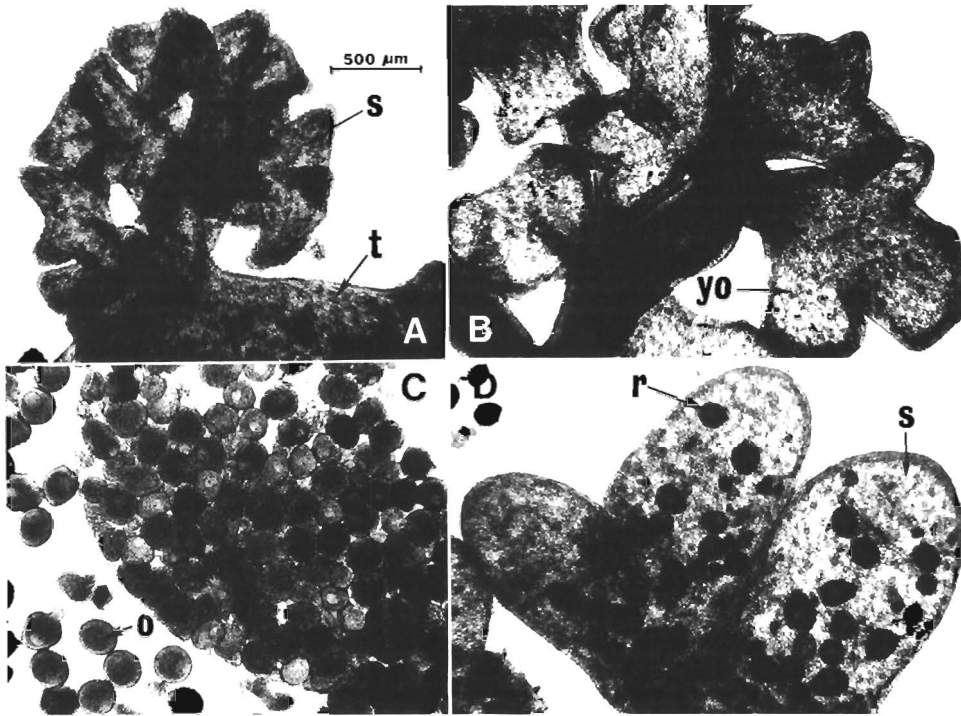


Figure 5. Microscopic aspects of stages of maturity in *T. ananas*: A, sex undetermined; B, female, stage III; C, female, stage IV; D, female, stage V; o, ripe oocyte; r, residual oocyte; s, saccule; t, tubule; yo, young oocyte.

that in a population containing several age classes, older animals at stages III, IV and V will be larger than those reaching sexual maturity for the first time. The total length and gutted weight at first maturity,  $TL_{50}$  and  $GW_{50}$ , were calculated from the regression equations.

## RESULTS

### Distribution and Abundance

*T. ananas* was found at a depth between 8 and 15 m amongst coral patches, on a flagstone covered with a fine layer of sand. The CPUE was approximately 20.

The black teatfish was found in the lagoon, on the inside slope of the Great Reef and close to the islands, and its numbers were often few. Owing to its extremely dispersed distribution in groups of a few individuals, samples were taken at several stations (Fig. 2). At the Amédée Lighthouse, it was sampled on the reef flat, whereas at the other stations, individuals were found on the sand around the base of coral slopes at depths of between 2 and 8 m. The CPUE was rather variable but averaged approximately 12.

The white teatfish is not very abundant in New Caledonia. Adult individuals were mostly found near the passes of the Great Reef, generally above 5 m. In Truk (Caroline Islands) it is distributed in much the same way (Howell and Henry, 1977). In Fiji, on the other hand, it predominates over the black teatfish; Gentle (1979) discovered it along with young forms in superficial seagrass beds of *Syringodium isoetifolium*. At the Uitoé pass in New Caledonia (Fig. 2), individuals were dispersed on the flagstone at depths of between 5 and 30 m. The CPUE,

Table 3. Characteristic features of the maturity stages in *Thelenota ananas*, prickly redfish (n = number of specimens,  $\bar{m}$  = mean, SD = standard deviation)

Maturity Stage Sex	Macroscopic Features	Microscopic Examination		Gonad Weight (g $\times 10^{-3}$ )	Gonad Index
Undetermined Sex I Immature	2 tufts of 5 to 12 tubules; tubules short: 1 to 6 cm in length; tubules without branching; budding saccules; color: grey.	sex indistinguishable; germinal cell diameter $\leq 30 \mu\text{m}$ .	$\bar{m}$	3.63	0.029
			n	51	50
			SD	2.83	0.014
II Resting					
III Growing male	elongated tubules: 5 to 12 cm in length; increasing size and number of saccules; color: purple.	some spermatozoa can be obtained from a portion of a tubule.  growing oocytes $\leq 150 \mu\text{m}$ , without modal size.	$\bar{m}$	28.09	0.139
			n	22	22
			SD	19.07	0.072
			$\bar{m}$	59.45	0.256
			n	31	31
			SD	87.17	0.307
IV Mature male	30 or more tubules in each tuft; tubule length: 12 to 25 cm; extremely full tubules and swollen saccules rounded in females, more elongated in males; color: purple.	sperm swimming from a section.  oocyte distribution polymodal; mode of ripe oocytes at $200 \mu\text{m}$ filling the lumen, small ones near the gonadal wall.	$\bar{m}$	261.33	1.124
			n	42	40
			SD	159.37	0.525
			$\bar{m}$	379.43	1.584
			n	49	49
			SD	277.82	1.034
V Post Spawning male	number of tubules decreasing; tubules shortening; tubules and saccules limp in consistency; color: purple to brown.	swimming sperm remaining in some saccules.  a few large oocytes or ruptured follicular membranes remaining; phagocytic cells destroying the residual oocytes.	$\bar{m}$	64.67	0.319
			n	60	60
			SD	64.64	0.292
			$\bar{m}$	60.88	0.287
			n	35	35
			SD	77.88	0.346
female					



Table 4. Characteristic features of maturity stages in *Microthele nobilis*, black teatfish (n = number of specimens,  $\bar{m}$  = mean, SD = standard deviation)

Maturity Stage Sex	Macroscopic Features		Gonad Anatomy		Gonad Weight (g × 10 <sup>-1</sup> )	Gonad Index	Microscopic Examination
			Tubule L. (mm)	Tubule Ø (mm × 10 <sup>-1</sup> )			
Undetermined Sex I Immature	few transparent tubules with little branching; distal end of tubules round in shape.	$\bar{m}$	8.5	1.5	2.6	0.039	spherical germinal cells with diameter ≤ 30 μm.
		n	23	23	24	23	
		SD	4.6	0.7	3.5	0.051	
II Resting							
I Growing I male	several, more branching, whitish tubules.	$\bar{m}$	64.2	5.4	52.7	0.56	few spermatozoa.
		n	12	12	12	12	
		SD	37.3	1.6	77.2	0.77	
I female		$\bar{m}$	28.8	4.8	22.0	0.24	growing oocytes ≤ 120 μm without modal size.
		n	12	12	12	12	
		SD	14.3	1.9	36.7	0.40	
IV Mature male	maximum volume; off-white numerous tubules with swellings; sperm may be present in gonoduct; swollen translucent numerous tubules; transparent ripe oocytes.	$\bar{m}$	124.2	10.4	423.7	2.89	numerous spermatozoa swimming from a tubule section.
		n	61	59	61	60	
		SD	34.0	2.8	368.7	2.14	
female		$\bar{m}$	105.4	20.2	771.8	5.04	polymodal distribution of oocytes; principal mode of spherical or polygonal oocytes circa 150 μm; secondary mode more or less apparent circa 80 μm.
		n	75	74	75	75	
		SD	34.1	4.83	631.8	3.42	
V Post Spawning male	some tubules as in stage IV but more limp, others shortening and showing atresia; color: brown.	$\bar{m}$	77.9	6.1	122.9	0.95	some spermatozoa remaining; brown or yellowish atretic cells.
		n	102	17	102	98	
		SD	36.3	2.1	119.9	0.82	
female		$\bar{m}$	59.2	9.8	128.4	0.95	a few oocytes of 100–160 μm; brown or yellowish atretic cells; occasionally some empty follicular membranes.
		n	84	80	84	83	
		SD	22.9	5.0	131.5	0.90	

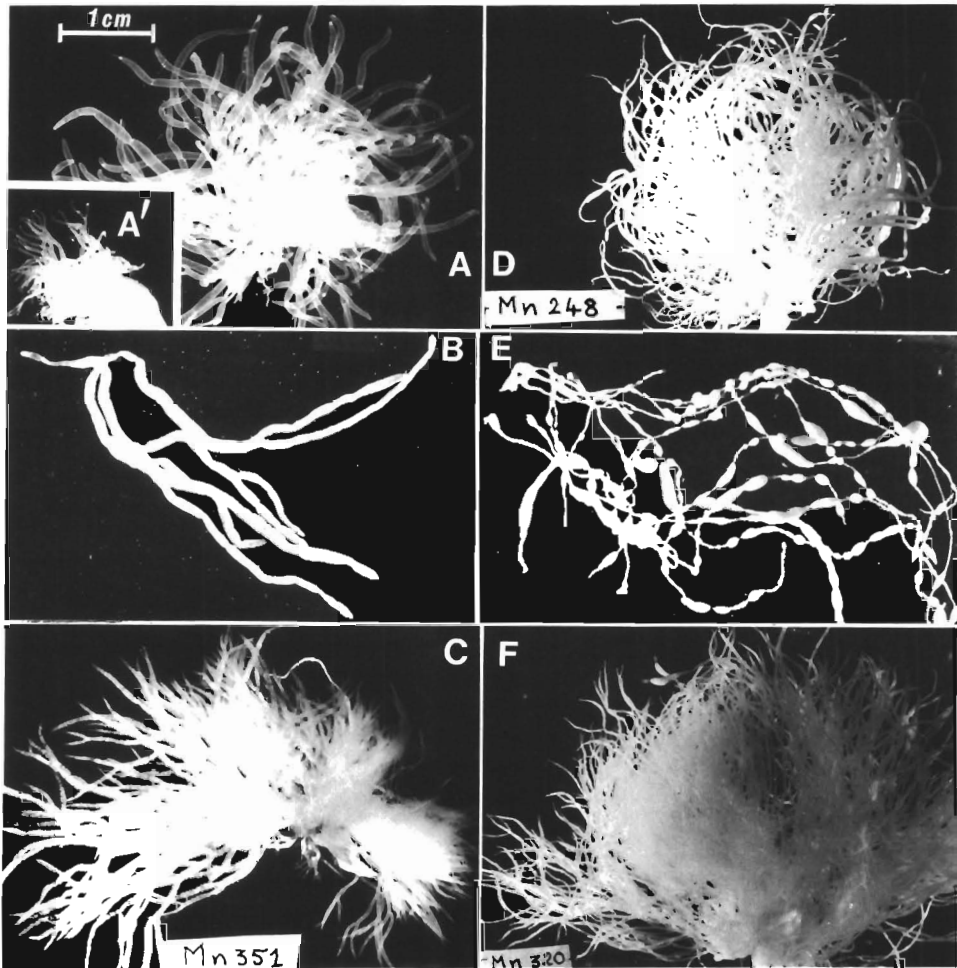


Figure 6. Gonad macroscopic features of *M. nobilis*: A, female, stage III; A', sex undetermined; B, female, stage IV; C, female, stage V; D, male, stage III; E, male, stage IV; F, male, stage V.

which reached 20 at the first samplings, dropped for the last harvests, which probably indicates a depopulation at this station.

#### Size Frequency Distributions and Biometric Relations

The size frequency distributions (Fig. 3 and Table 1) were unimodal and approximately normal for *T. ananas* and *M. fuscogilva*. They reveal the phenomenon of "one size class in a locality" (Bakus, 1973). The majority of specimens encountered were adults, young forms appearing rarely (Fig. 1). Size distributions of *M. nobilis* obtained by grouping the data from the different stations did not appear to be unimodal. A detailed study per station will be conducted at a later date.

The biometric relations established between pairs of characters are presented in Table 2. The variability of biological material has often been noted. This mostly

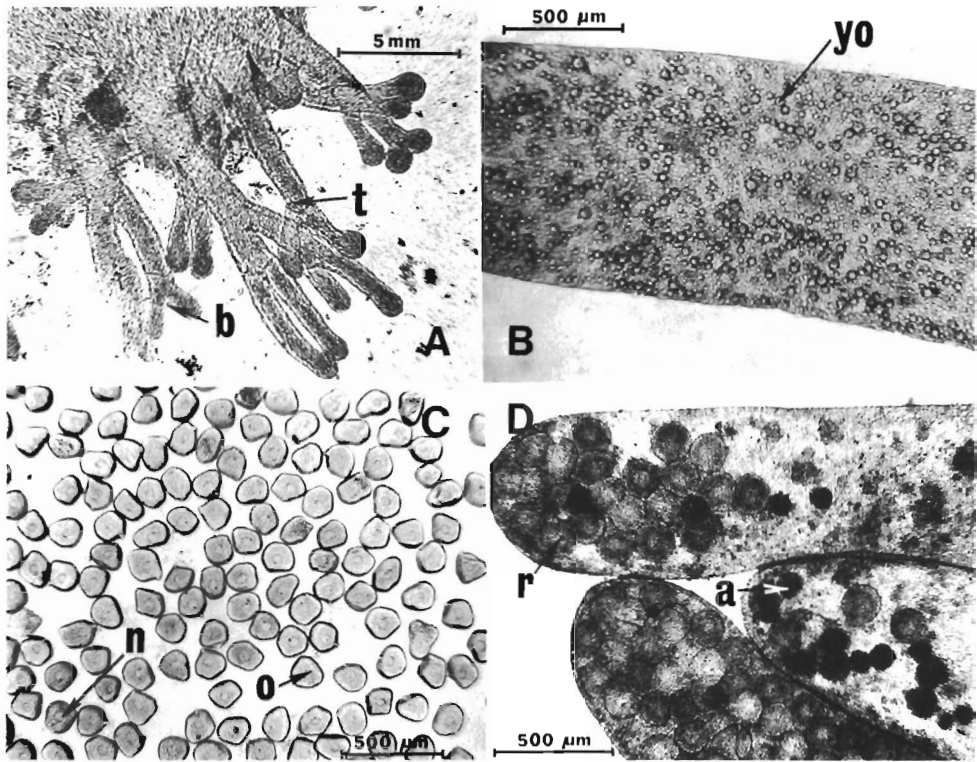


Figure 7. Microscopic aspects of stages of maturity in *M. nobilis*: A, sex undetermined; B, female, stage III; C, female, stage IV; D, female, stage V; a, atretic oocyte; b, tubule branching; n, oocyte nucleus; o, oocyte; r, residual oocyte; t, tubule; yo, young oocyte.

results from the differences between individuals, but in the case of holothurians, there are also numerous inaccuracies when measuring an individual. Length, difficult to determine because of the body wall consistency, also varies with the phase of activity during sampling (feeding or resting). Weight varies according to the amounts of coeliac water and of sediment in the alimentary canal. The values of the correlation coefficients calculated for the relations (1) are rather low. However, only the length can be easily measured in the sea. These variations led Choe (1963), during his study of *Stichopus japonicus*, to choose the gutted weight in calculating the gonad index. The extremely high values of the correlation coefficients for the relations (2) show the distinctness of the relation between the drained and gutted weights and justify the choice of drained weight as characteristic weight for calculation of gonad indices.

#### Gonads, Sexual Stages and Sex-ratios

The gonads of *T. ananas* are composed of two tufts of tubules on which expansions or saccules develop. The epithelium of the gonads contains a red pigment which often makes it difficult to determine the sex, and it also contains several spicules similar to those of the body wall.

The characteristics of the five stages are presented in Table 3 and illustrated by Figures 4 and 5. Stages I and II comprise individuals of undetermined sex,

Table 5. Characteristic features of the maturity stages in *Microthele fuscogilva*, white teatfish (n = number of specimens,  $\bar{m}$  = mean, SD = standard deviation)

Maturity Stage Sex		Gonad Tubules		Gonad Weight (g $\times 10^{-3}$ )	Gonad Index
		L (mm)	$\Phi$ (mm $\times 10^{-1}$ )		
Undetermined	$\bar{m}$	9.3	1.7	1.87	0.017
I Immature	n	16	16	16	14
	SD	8.1	1.2	1.54	0.010
II Resting					
III Growing male	$\bar{m}$	45.8	4.0	28.33	0.20
	n	9	9	9	9
	SD	22.2	0.5	44.39	0.31
female	$\bar{m}$	33.5	8.1	26.50	0.18
	n	10	10	10	10
	SD	9.4	2.2	23.17	0.14
IV Mature male	$\bar{m}$	88.0	9.0	137.67	0.83
	n	27	27	27	27
	SD	25.6	3.4	150.06	0.80
female	$\bar{m}$	78.6	15.7	359.57	2.18
	n	21	21	21	20
	SD	25.2	6.6	306.48	1.74
V Post Spawning male	$\bar{m}$	50.6	4.1	26.14	0.17
	n	21	21	21	21
	SD	29.2	2.2	23.69	0.16
female	$\bar{m}$	47.6	12.2	67.47	0.45
	n	19	19	19	19
	SD	21.8	16.9	74.48	0.55

stage I corresponding to immature individuals and stage II to the resting ones. The characteristics of the gonads are identical and only the determination of the size at first sexual maturity makes it possible to distinguish individuals of these two stages. Stage III corresponds to the early maturation; the sexes can therefore be distinguished by a microscopic examination. Stage IV becomes evident by the increased volume of the gonads and includes mature and spawning individuals. The ripe oocytes measured approximately 200  $\mu\text{m}$ . The average gonad index was 1.1% for males and 1.6% for females. Determining the post-spawning stage V is more difficult as the characteristics of the gonad weight and the length of the tubules can be compared to those of stage III. However, the gonads are deflated and more limp and residual ripe oocytes or spermatozoa may be observed as well as signs of atresia and resorption of germinal cells by phagocytic cells.

In *M. nobilis* the sexes are separated: the ovaries and the testes are composed of one tuft of tubules, each of which generally has 2–3 branches (Fig. 6). Their length and diameter vary during the reproductive cycle and are useful in determining the maturity stage (Table 4). Gonads present a sexual dimorphism: in females the tubules are shorter and wider and at stage IV the ovary weight and gonad index value are higher (5.0%) than in males (2.9%). Distinguishing stages III of maturation and V of post-spawning is generally easier than for *T. ananas* since the pigmentation of the gonads, which varies according to the species, is lighter. The ripe oocytes of *M. nobilis* measured from 140 to 160  $\mu\text{m}$  (Fig. 7).

The gonads of *M. fuscogilva* have the same structure as those of *M. nobilis*

(Figs. 6 and 7). The sexes are separated. Table 5 gives the mean values of the length and diameter of tubules and the gonad weight and gonad index calculated for the different stages in *M. fuscogilva*. Its gonads present the same sexual dimorphism as *M. nobilis*. At stage IV the mean gonad index was 2.2% for females and 0.8% for males. The ripe oocytes measured approximately 170  $\mu\text{m}$ .

The monthly percentages of male, female and undetermined individuals were calculated (Fig. 8). No hermaphrodite individual nor any sign of asexual reproduction by transverse fission was observed. The undetermined individuals represented 17% of the entire sample of *T. ananas* but their percentage was higher in July and August 1979. The sex-ratio was 1.08:1.0 (males : females). The 24 undetermined individuals of *M. nobilis* represented only 6.5% of the total but their percentage was higher in December 1978 and 1979 when they exceeded 20%. The sex ratio was 1.02:1.0. In *M. fuscogilva*, the undetermined individuals represented 13% of the total but their percentage was slightly higher in April. The sex ratio was 1.14:1.0.

### Reproductive Cycles

For *T. ananas* monthly percentages of individuals at stages III, IV, and V showed a similar pattern in both males and females (Fig. 9). During October, November, and December 1978, maturing individuals (stage III) were preponderant and the percentage of mature individuals increased. During January, February, and March 1979 there were no more individuals at stage III and the majority was composed of mature individuals; however the percentage of post-spawning (stage V) individuals increased. From April to August 1979 stage V became predominant, with an increase in the percentage of maturing individuals paralleling the decline of stage V. There was a similar cycle from October 1979. The spawning period was therefore spread out from December to April with a peak during the first 3 months. The high percentage of individuals of undetermined sex observed in July and August (Fig. 8) may therefore partly correspond to adults in the resting period.

The average monthly gonad index (Fig. 10) showed seasonal variations. There was a period of increasing values from October to January, a decline from February to June followed by low values from July to October. This substantiates those observations obtained from the study of the gonads. The variances of these values were quite high during the reproduction period, indicating a high individual variability of the state of maturity. The variances declined sharply from May to October when the entire population under study arrived at the spent or resting periods.

The annual variation of the sea surface temperature at the Anse Vata coastal station (Fig. 10) showed an alternating warm season and cold season with transitional season in between. By associating the sexual cycle with the temperature, maturation was observed to begin during water heating in September. Spawning occurred during the warm season and post-spawning, followed by resting, predominates during the cooling period from April to September.

*T. ananas* therefore presents an annual reproductive cycle marked by one single spawning period during the warm season.

During the year, males and females of *M. nobilis* developed in the same way (Fig. 9). Maturing individuals were only found from January to May and were at a maximum in March. The pre-spawning and spawning periods followed until November, with a maximum in May–June–July. Post-spawning individuals were found virtually throughout the year but predominated from November to Feb-



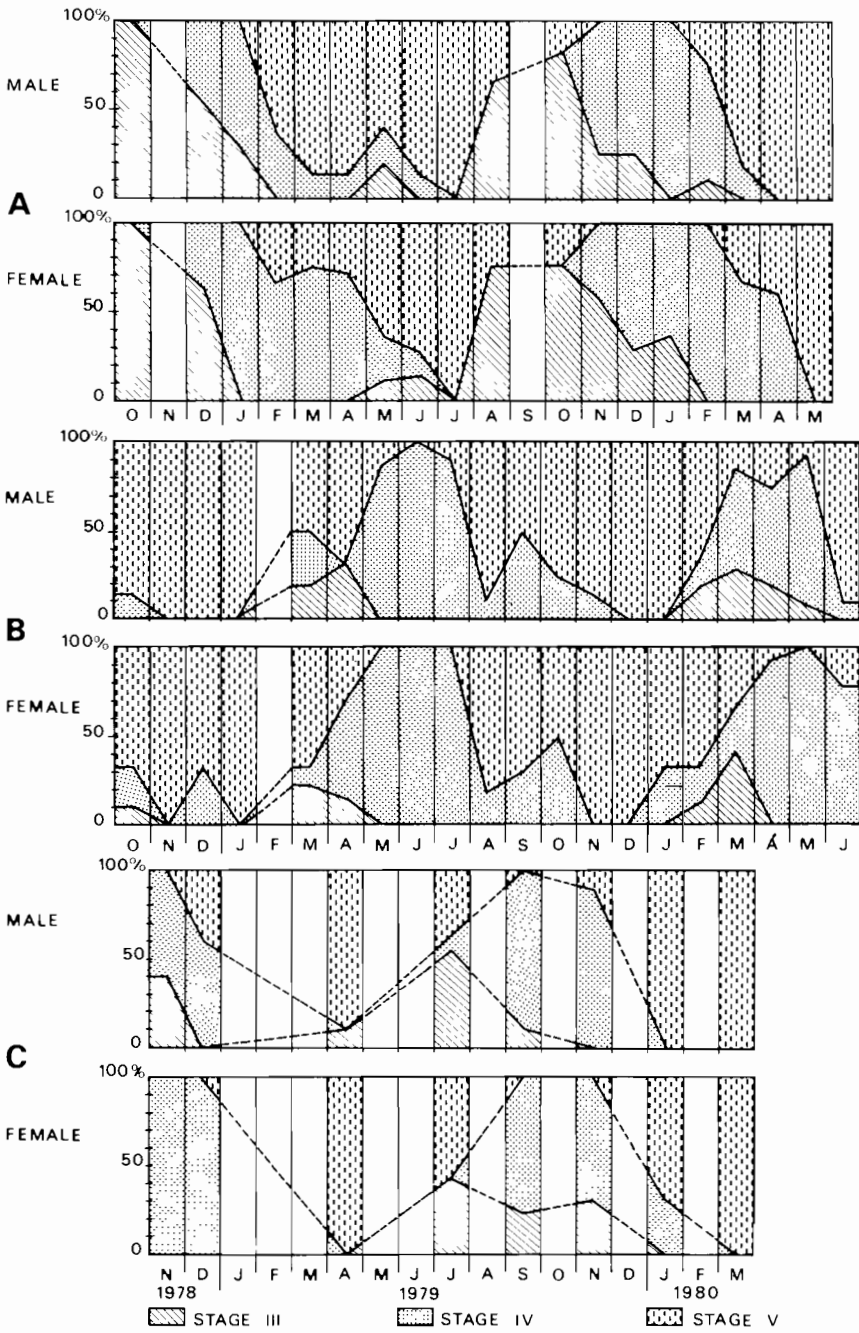


Figure 9. Monthly percentages of maturity stages. A, *T. ananas*; B, *M. nobilis*; C, *M. fuscogilva*.

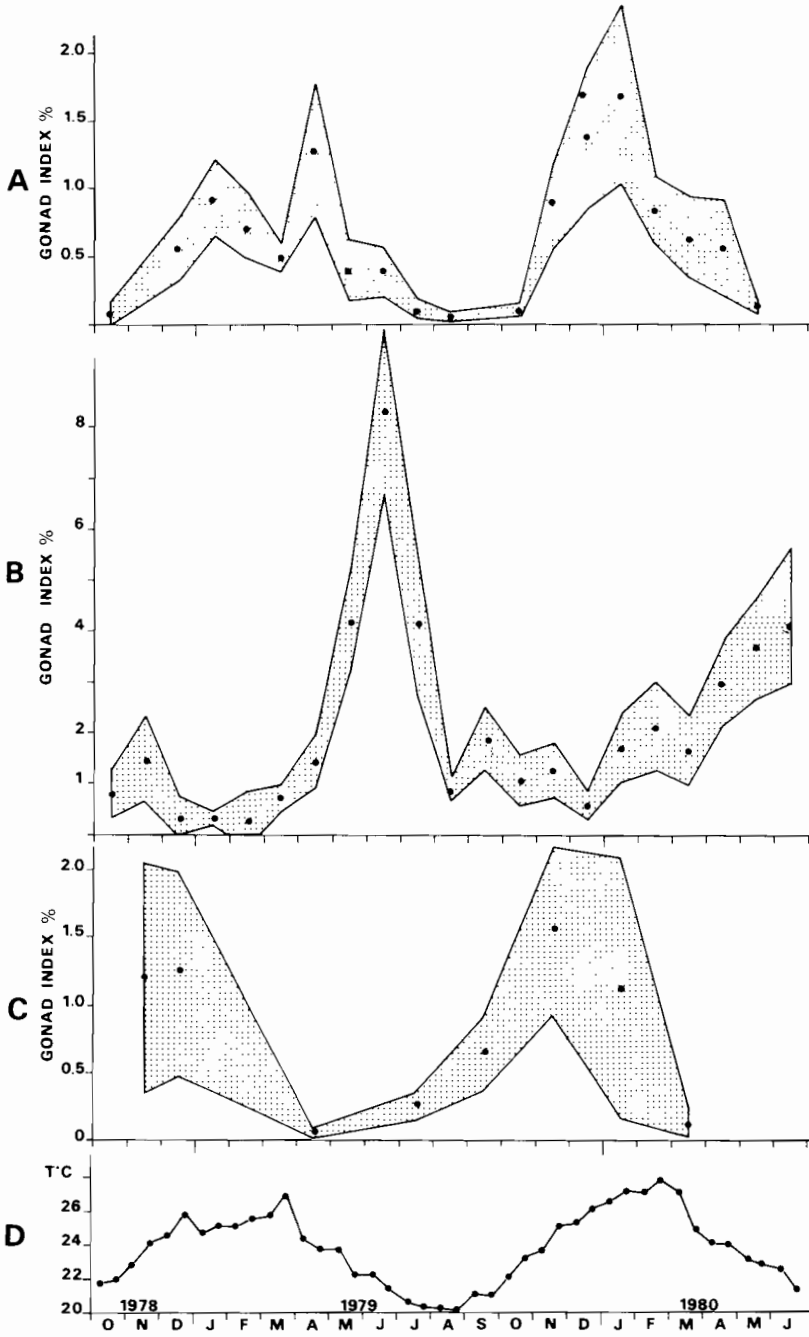


Figure 10. Seasonal changes of gonad index and surface water temperature. The points are the mean gonad indices, the bands are the 0.90 confidence limits. A, *T. ananas*; B, *M. nobilis*; C, *M. fuscogilva*.



ruary. The high percentage of immature individuals in December corresponded to the maximum number of post-spawning individuals. Generally, results from two consecutive years tally.

The average monthly gonad index (Fig. 10) showed a very high peak in May–June–July 1978 and a slightly lower peak in May–June 1979. The sudden decline of the gonad index in July 1978 corresponded to the beginning of the spawning period which probably lasted until November. In fact, sperm was observed in the male gonoduct throughout this period. In this species the resting phase took place during the warm season.

*Microthele nobilis* therefore presents an annual reproductive cycle marked by a long spawning period during the cold season and perhaps while the waters are warming; maturation and resting periods are brief. Observations by Mortensen (1938) made during the July–September period in the Red Sea (warm season) indicated that reproduction took place during this time, a fact which differs from our results. It is questionable whether this is the same species, since the Red Sea species has a body color and an anal papillae morphology quite different from the New Caledonian species (Cherbonnier, 1955).

The cycle of different maturity stages (Fig. 9) is not defined in as much detail for *M. fuscogilva* as for previous species because of the reduced sample size. Gonad growth lasted from April to November and the maximum percentage of individuals at stage III is in July. Pre-spawning and spawning stages showed a similar pattern in both sexes. The post-spawning stage lasted from September to January and the highest percentage of undetermined individuals was recorded during this period.

The mean gonad index (Fig. 10) showed two similar peaks in November–December 1978 and in November 1979 followed by a rapid decline in April 1979 and March 1980. A small confidence interval corresponded to the low values of the gonad index. The gonad index increased slowly from May to September. As in the two other species studied, the synchronism between all individuals only occurred during the resting stage which, in the case of *M. fuscogilva*, was when the waters were becoming cold from March to June. Maturation occurred during the cold season and while the waters were warming again. Most individuals spawned at the beginning of the warm season in January and February. This cycle is therefore very different from that of the black teatfish.

#### Size at First Sexual Maturity

For *T. ananas* the percentages of mature individuals in drained weight classes increase between 350 and 1,850 g; the weight at first maturity,  $DW_{50}$  equals 1,200 g when the entire sample series is used and 1,150 g when the resting period is excluded (Fig. 11). From this may be calculated  $TL_{50} = 300$  mm and  $GW_{50} = 957$  g.

Similarly, for *M. nobilis* the first maturity is reached between 250 and 850 g DW;  $DW_{50} = 580$  g,  $TL_{50} = 227$  mm and  $GW_{50} = 474$  g (Fig. 11). Individuals showing a great deal of cream color on the black body were mostly immature (10 from 18 specimens observed) and all individuals weighing under 500 g had these pigments. It is therefore noted that sexual maturity appears at the same time as the pigmentation of the young form disappears.

For *M. fuscogilva* the first maturity is reached between 700 and 1,500 g DW;  $DW_{50} = 900$  g,  $TL_{50} = 324$  mm and  $GW_{50} = 779$  g (Fig. 11).

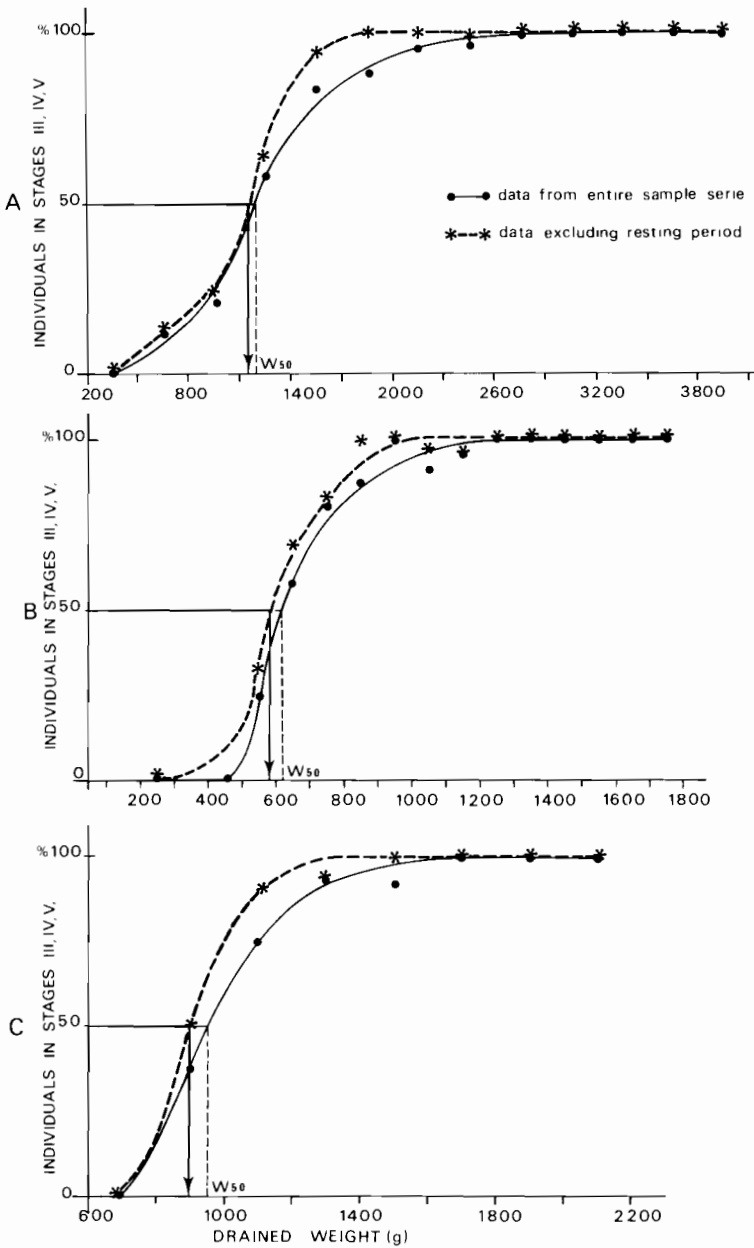


Figure 11. Weight at first sexual maturity. A, *T. ananas*; B, *M. nobilis*; C, *M. fuscogilva*.

## DISCUSSION

### Reproductive Cycle

This first study of the sexual cycle of commercially viable holothurians in New Caledonia proves the complexity of the phenomena. A coherent outline can only

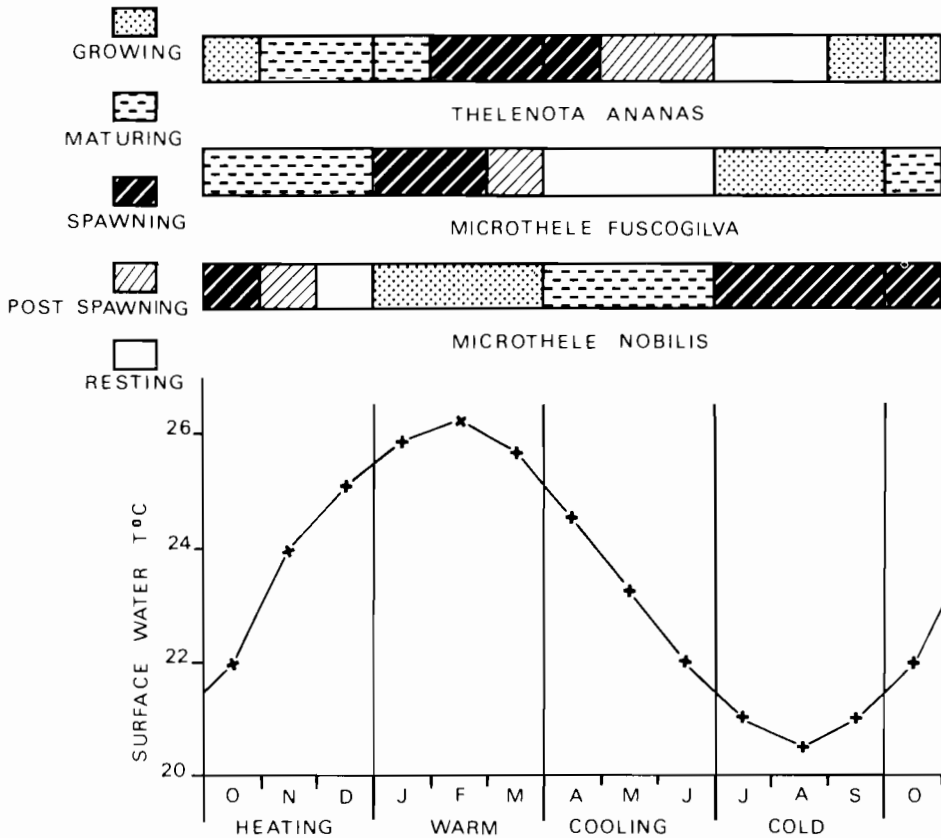


Figure 12. Phases of the reproductive cycle of some holothurian species related to the sea water temperature.

be obtained through the combined use of several techniques. The reproductive cycle of each species can only be elucidated by simultaneous observation of variations of the gonad index and its confidence limits, the cycle of different maturity stages and the percentage of undetermined individuals (Fig. 12). The peak period of stage IV is dissociated into maturing or pre-spawning (maximum peak of gonad index) and spawning (beginning of the decline of the gonad index). The peak period of stage V is divided into post-spawning or spent (during the decline of the gonad-index) and resting (corresponding to the maximum percentage of undetermined individuals). *Thelenota ananas* and *M. fuscogilva* reproduce in the warm season whereas *Microthele nobilis* spawns during the cold season and at the beginning of the water warming period. The three species therefore exhibit an annual reproductive cycle although they present wide variations in seasonality.

Harriot (1980)<sup>1</sup> in her study of the holothurian fauna of Heron Reef found different reproductive patterns in three congeneric species: *Holothuria atra* spawns biannually in summer and winter, *H. impatiens* annually in spring, and *H. edulis* without annual cycle apart from a summer resting period. It is interesting that the two congeneric species of the present study show differences in season-

ality and no overlap in their spawning periods (Fig. 12). The spawning of *T. ananas* and *M. fuscogilva* during the warm water season conforms with the most common reproductive pattern.

### Fecundity

Comparing the mean values of ovary weights and ripe oocyte diameters (Tables 3, 4, 5) makes it possible to classify species according to their total individual fecundity or the number of ripe oocytes found in the ovary. *M. nobilis* produces small oocytes in large numbers since the ovary weight is very high, whereas *T. ananas* and *M. fuscogilva* have lighter ovaries and more voluminous oocytes. A coefficient of fecundity may be estimated by dividing the mean weight of the ovary at stage IV by the cube of the oocyte diameter; it equals 4,750 for *T. ananas*, 22,800 for *M. nobilis* and 7,350 for *M. fuscogilva*. The inverse relationship between ovum size and number, hypothesized by Stearns (1976) and valid for the reef holothurians studied by Harriot (1980),<sup>1</sup> is also confirmed for these species.

The gonad index values at stage IV make it possible to compare relative fecundity or fecundity related to body weight. In the present study, *M. nobilis* revealed the highest values, 3.5 times greater than for *M. fuscogilva* and 6.0 times greater than for *T. ananas*.

### Size at First Sexual Maturity

The size at first maturity has been observed for some holothurians: the smallest mature *Stichopus japonicus* had a body wall weight of 39 g but in general they weighed 58–60 g (Choe, 1963); *Cucumaria pseudocurata* probably becomes reproductive below 23 mg (Rutherford, 1973); mature gonads were rarely found in *Holothuria atra* weighing less than 100 g (Harriot, 1980).<sup>1</sup>

The method used in the present study to determine the size at first maturity gives precise results allowing comparisons between the species. In *M. nobilis* first maturity is reached at a lesser size and weight than in *M. fuscogilva* and *T. ananas*. Related values between the first maturity weight and the mean weight ( $DW_{50}/\bar{DW}$ ) were 0.46 for *M. nobilis*, 0.58 for *T. ananas* and 0.61 for *M. fuscogilva*. Growth studies will be necessary to determine the age at first maturity. In order to deal with this problem, a sufficient number of young individuals must be found to study their development or tag them.

### ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses her sincere gratitude to the following persons from the O.R.S.T.O.M. Center of Noumea: the team of divers for their assistance during sampling, P. Laboute for underwater photography, G. Patissou for photographs of the gonads, C. Hoffschir for his technical aid and J. F. Racape for the preparation of the "Holo!" computer program, and thanks are extended to Dr. L. S. Hammond from James Cook University for his helpful criticism of the manuscript.

### LITERATURE CITED

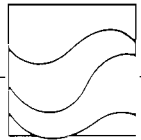
- Anonymous. 1979. Bêche-de-mer of the tropical pacific. Handbook No. 18. South Pacific Commission, Noumea. 29 pp.
- Bakus, G. J. 1973. The biology and ecology of tropical holothurians. Pages 325–367 in Jones and Endean, eds. Biology and geology of coral reefs, vol 2. Academic Press, New York.
- Booolootian, R. A. 1966. Reproductive physiology. Pages 561–614 in R. A. Booolootian, ed. Physiology of echinodermata. Interscience Publishers, New York. 822 pp.
- Cherbonnier, G. 1955. Résultats scientifiques des campagnes de la "Calypso." Les holothuries de la Mer Rouge. Anns Inst. Océanogr., Monaco 30: 129–183.

- . 1980. Holothuries de Nouvelle-Calédonie. Bull. Mus. Natn. Hist. Nat. Paris, 2è sér., 2(3): 615–667.
- Choe, S. 1963. Namako no kenkyù. (Biology of the Japanese common sea cucumber *Stichopus japonicus*, Selenka). Pusan National University. 226 pp.
- Clark, A. M., and F. W. Rowe. 1971. Holothurioidea. Pages 171–210 in Monograph of shallow-Water Indo-West Pacific Echinoderms. Trustees of the British Museum, London. 238 pp.
- Clark, H. L. 1921. The Echinoderm fauna of Torres Strait. Pap. Dep. Mar. Biol. Carnegie Instn. Wash. 10. 223 pp.
- Conand, C. 1975. Maturité sexuelle et fécondité du Tassergal, *Pomatomus saltator* (L., 1766), Poissons—*Pomatomidae*. Bull. Inst. Fond. Afr. Noire (A), 37, (2): 395–466.
- . 1979. Bêche-de-mer in New Caledonia: weight loss and shrinkage in three species of holothurians. Fish. Newsltr. South Pacific Commission 19: 14–18.
- Gentle, M. T. 1979. The fisheries biology of Bêche-de-mer. South Pacific Bull. 29: 25–27.
- Howell, R., and M. Henry. 1977. Dried sea cucumber processing. Report Marine Resources and Development, Truk District, Trust Territory of the Pacific Islands. 15 pp.
- Intes, A., and J. L. Menou. 1979. Quelques holothuries (Echinodermata) des environs de Nouméa et leur répartition. Rap. Scient. Techn. (3), ORSTOM, Nouméa. 23 pp.
- Krishnaswamy, S., and S. Krishnan. 1967. A report on the reproductive cycle of the holothurian *Holothuria scabra* Jaeger. Curr. Sci. 36: 155–156.
- Mitsukuri, K. 1912. Studies on Actinopodous Holothuroidea. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo 29(2): 1–284.
- Mortensen, T. 1938. Contributions to the study of the development and larval forms of Echinoderms, IV. K. danske Vidensk. Selsk. Skr. (9) 7(3): 1–59.
- Mottet, M. G. 1976. The fishery biology and market preparation of sea cucumbers. Washington Department of Fisheries, Technical Report No. 22. 57 pp.
- Panning, A. 1944. Die Trepangfischerei. Mitt. Zool. Mus. Inst. Hamb. 49(2): 1–76.
- Pearse, J. S. 1968. Patterns of reproductive periodicities in four species of Indo-Pacific echinoderms. Proc. Indian Acad. Sci. B(67): 247–279.
- Rutherford, J. C. 1973. Reproduction growth and mortality of the holothurian *Cucumaria pseudo-curata*. Mar. Biol. 22: 167–176.
- Sachithanathan, K. 1972. South Pacific Islands Bêche-de-mer fishery. F.A.O. Rome DP. RAS. 69. 102. 11. 32 pp.
- Stearns, S. C. 1976. Life history tactics: a review of the ideas. Quart. Rev. Biol. 51(1): 3–47.

DATE ACCEPTED: April 10, 1981.

ADDRESS: Centre ORSTOM, section océanographie, B.P. A5, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.





# Hydroclimatic anomalies in the South Pacific

Hydroclimatology  
Monitoring  
South Pacific  
Surface Salinity  
« El Niño »

Hydroclimatologie  
Surveillance continue  
Pacifique Sud  
Salinité superficielle  
« El Niño »

J. R. Donguy, C. Hénin  
Centre Orstom, BP A 5, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

Received 23/5/77, in revised form 11/7/77, accepted 2/8/77.

## ABSTRACT

Some 6 months after the appearance of the "El Niño" phenomenon in the Eastern Pacific, a hydroclimatic anomaly is observed in the Western Pacific. Data from a system of monitoring surface conditions using ships of opportunity show the occurrence of a weak "El Niño" in February-March 1976 and the corresponding Western Pacific anomaly in August-September 1976.

*Oceanol. Acta*, 1978, **1**, 1, 25-30.

## Anomalies hydroclimatiques du Pacifique Sud

## RÉSUMÉ

Environ 6 mois après l'apparition du phénomène « El Niño » dans le Pacifique oriental, une anomalie hydroclimatique est observée dans le Pacifique occidental. La mise en place d'un réseau de navires non spécialisés surveillant la surface du Pacifique a permis de saisir précisément en février-mars 1976 une anomalie hydroclimatique de même type mais plus faible dans le Pacifique Est ainsi que l'anomalie correspondante en août-septembre 1976 dans le Pacifique Ouest.

*Oceanol. Acta*, 1978, **1**, 1, 25-30.

## INTRODUCTION

For several decades, meteorological offices have made provision for continuous monitoring of the lower atmosphere from many fixed or mobile stations (ships or aircrafts) deployed throughout the world. As a result our understanding of atmospheric phenomena has been improved, and the forecasting required especially for air traffic has become remarkably reliable. In its expansion, oceanography hesitates to follow a similar path. The sophistication of research vessels and laboratory-buoys is steadily increasing and, as a result, cruises are becoming more and more costly. Continuous monitoring of the ocean with such methods is consequently unthinkable. On the other hand, thousands of merchant and naval vessels are continually plying the seas : the use of these non-specialized ships for scientific research could provide a continuous monitoring of the oceans, initially at the surface, and subsequently at greater depths. A

programme of surface sampling is currently being carried out by the Orstom Centre in Noumea. Since 1969 between New Caledonia and Japan, and since 1975 along several Transpacific sailing routes, the gathering of surface data has permitted a continuous survey of the surface temperature and salinity of the tropical Pacific. Thanks to this system, seasonal variations in the characteristics of the surface water masses have been observed and have been related to meteorological observations. Close connexions occur between wind, rainfall and surface salinity (Donguy, Hénin, 1974; Donguy, Hénin, 1975).

## MAJOR HYDROCLIMATIC ANOMALIES

To obtain a view, albeit incomplete, of the surface conditions pertaining before 1975, it has been necessary to compile all available surface data, including those related to salinity, for the years 1956-1974. It has thus

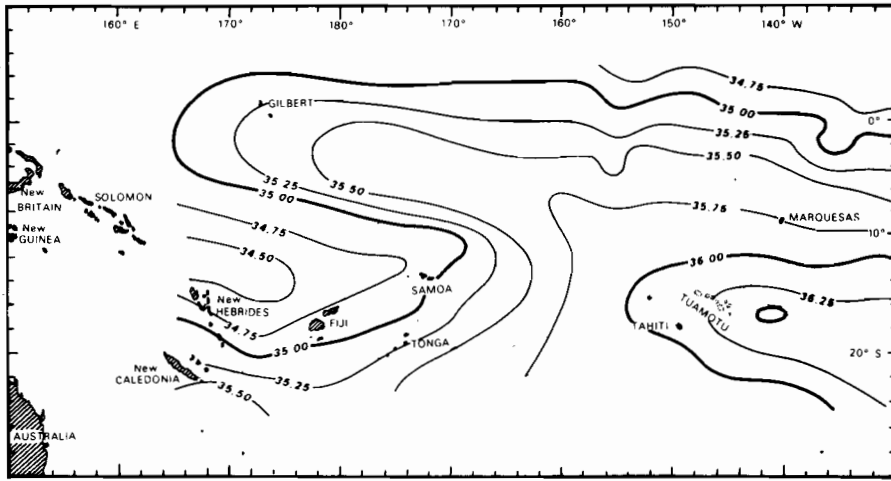


Figure 1  
Mean surface salinity, per mil, 1956-1974.

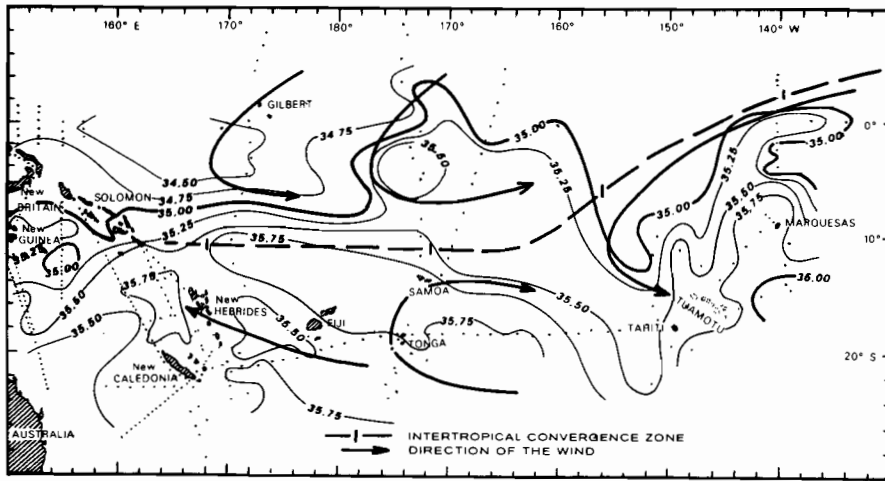


Figure 2  
Surface salinity, per mil, January-June 1958. Wind direction is indicated by arrows, and the intertropical convergence zone of winds by a broken line.

been possible to draw up, for each year between 1956 and 1973, two half-yearly charts of surface salinity, as well as four quarterly charts covering the period since 1973. The same main features appear on each chart (Fig. 1): south of 10°S and east of 160°W, the tropical salinity maximum generally reaches 36.0‰ and extends westward as far as 170°E; while from 5 to 20°S, west of 170°W, a minimum of salinity is observed. However, completely anomalous surface conditions may occur within the same period, as at the end of the years 1957, 1965 and 1972. The latter part of each of these years was characterized by major hydroclimatic anomalies which continued into the beginning of the following year. Their occurrence has been noted in the South-West Pacific (Fig. 2) by Donguy and Hénin (1976). In the place of an equatorial salinity maximum due to upwelling induced by the trade-winds, a salinity minimum occurred, due to westerly winds and to the creation of a convergence zone of winds connected with rainfall. South of 10°S, instead of the salinity

minimum, in the reverse, a salinity maximum occurred, under the influence of drought-inducing trade-winds.

At the beginning of these years (1957, 1965, 1972), the hydroclimatic anomaly called "El Niño" was observed in the Eastern Pacific. According to Wyrтки (1975), "El Niño" is the result of the response of the equatorial Pacific Ocean to atmosphere-forcing by the trade-winds; as a result of the weakening of the south-east trade wind in the Central Pacific after a long period of strong ones, warm and desalted surface water from the north spreads south of the equator, and salinity is further lowered by precipitations due to the presence of the convergence zone of the wind. These phenomena were particularly closely examined in 1972 (Wooster, Guillen, 1974; Ramage, 1975).

It therefore appears that the hydroclimatic anomalies occurring in the Western Pacific in August-September follow the major hydroclimatic anomalies (El Niño) which occur in February-March in the Eastern Pacific.

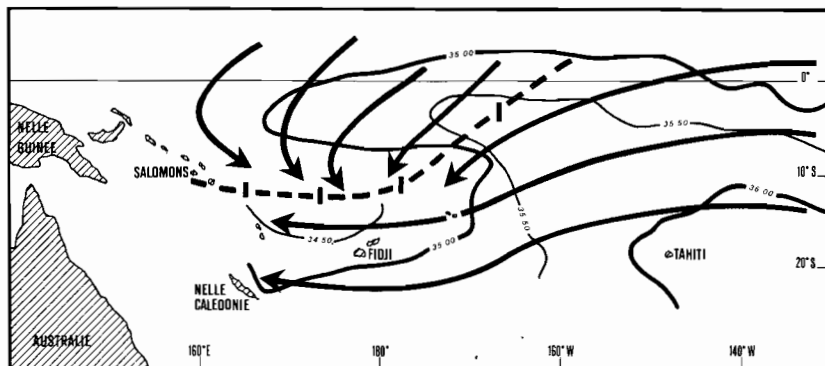


Figure 3  
Mean surface salinity, per mil, January-March 1956-1974. Wind direction is indicated by arrows and the intertropical convergence zone of winds by a broken line.



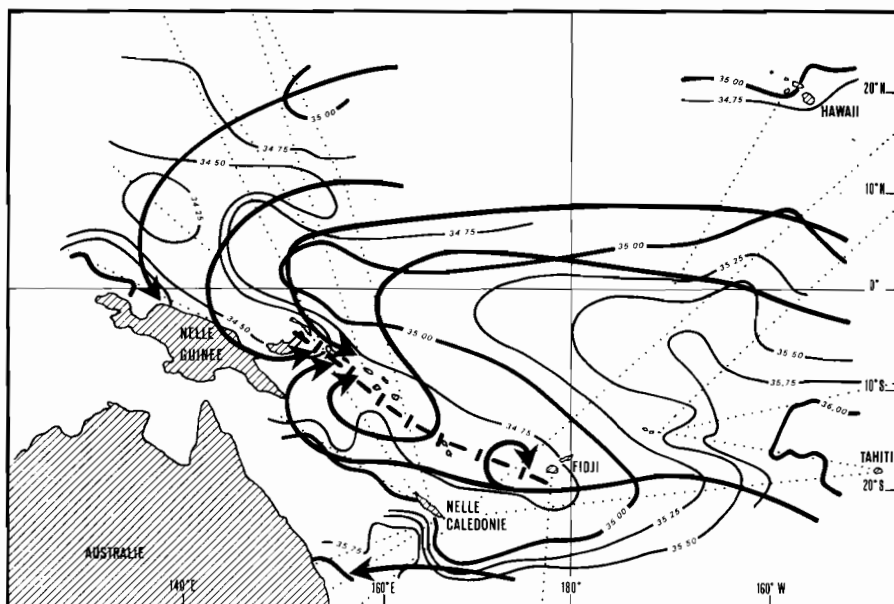


Figure 4  
Surface salinity, per mil,  
March 1976 in the Western Pacific.  
Wind direction is indicated by arrows  
and the intertropical convergence zone  
of winds by a broken line.

MINOR HYDROCLIMATIC ANOMALIES: 1976

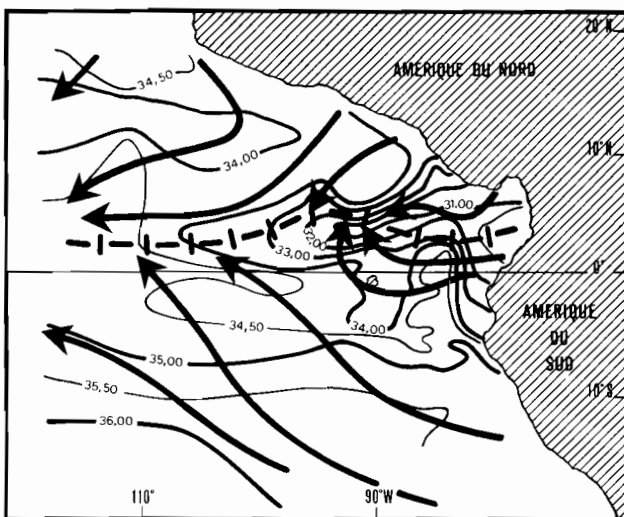
Hydroclimatic anomalies in the South Pacific are not, however, all of the same intensity and less important phenomena than those observed in 1957, 1965 and 1972 may also appear. Thanks to the merchant ship system of Pacific Ocean sampling, it was possible to observe one of these in 1976.

February-March 1976

The chart of the mean surface salinity in February-March in the south-west tropical Pacific Ocean (Fig. 3), drawn up the basis of all the surface data available for the period between 1956 and 1974, shows features connected with the wind field: east of 165°E, the equatorial salinity maximum is due to the upwelling induced by the trade-winds; west of 165°E, the winds are deflected to the north-west and, the upwelling vanishing, salinity falls to less than 35.0‰. South of 5°S, the salinity minimum (S < 35.0‰) is connected with the presence of west winds and the convergence zone of the rain-bearing wind. In March 1976 (Fig. 4), the surface salinity chart and the wind field showed the same features as in Figure 3. The situation could thus be considered as normal.

For the Eastern Pacific, in the absence of a mean salinity chart, we may refer to the Eastropac data for February-

Figure 5  
Surface salinity, per mil,  
February-March 1967, in the  
Eastern Pacific (Eastropac Expedition).  
Wind direction is indicated by arrows  
and the intertropical convergence zone  
of winds by a broken line.



March 1967 (Love, 1972). The surface salinity chart (Fig. 5) shows that the usually low salinity between the equator and 10°N is connected with the presence of the convergence zone of the winds. Between the Galapagos Islands and the American continent, an increase of surface salinity occurs, together with a decrease of surface temperature; this is indicative of equatorial upwelling induced by east winds along the Equator. In February-March 1976 (Fig. 6), the convergence zone of the winds

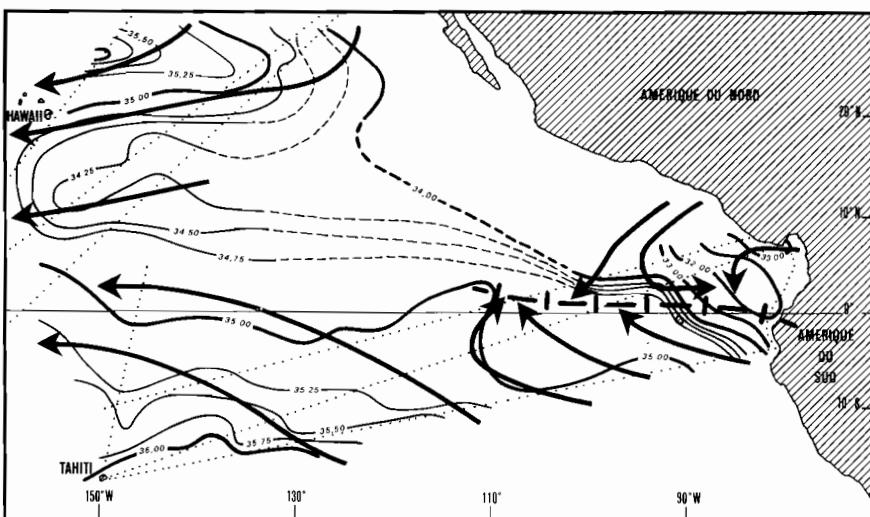


Figure 6  
Surface salinity, per mil,  
February-March 1976, in the  
Eastern Pacific. Wind direction  
is indicated by arrows and the  
intertropical convergence zone  
of winds by a broken line.

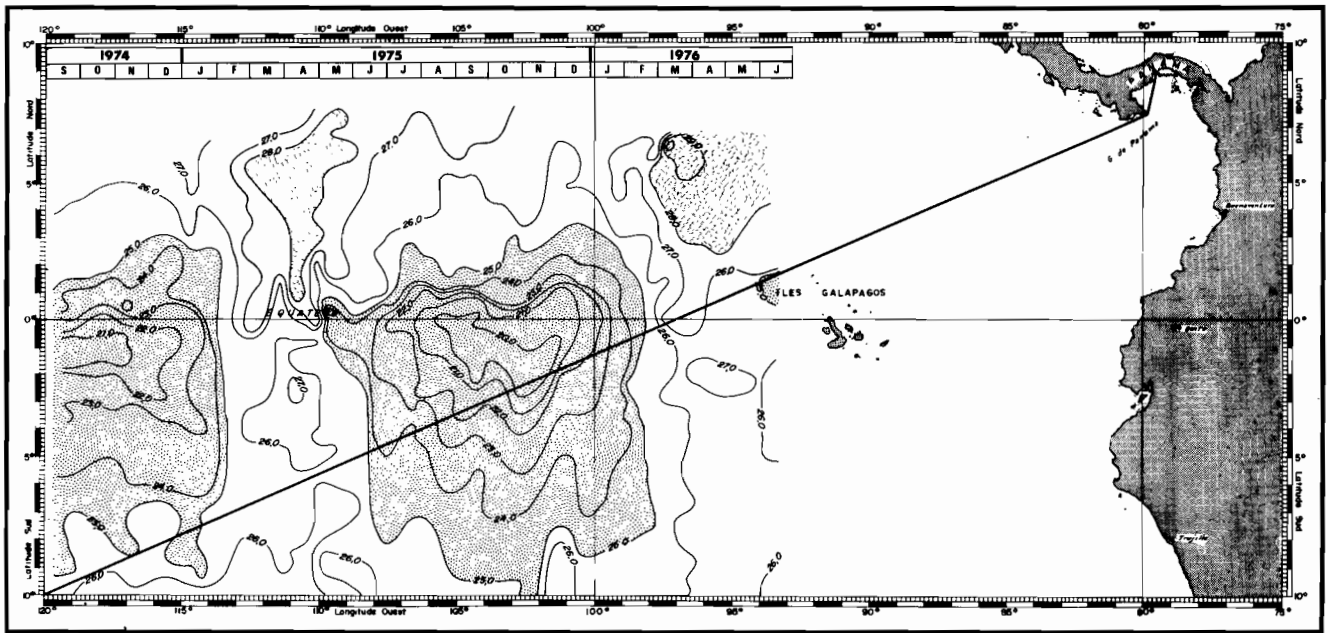


Figure 7  
Thermic diagram of the course taken by ships between Tahiti and Panama. Abscissa: months of the year. Ordinate: latitude on the same scale as the marine chart.

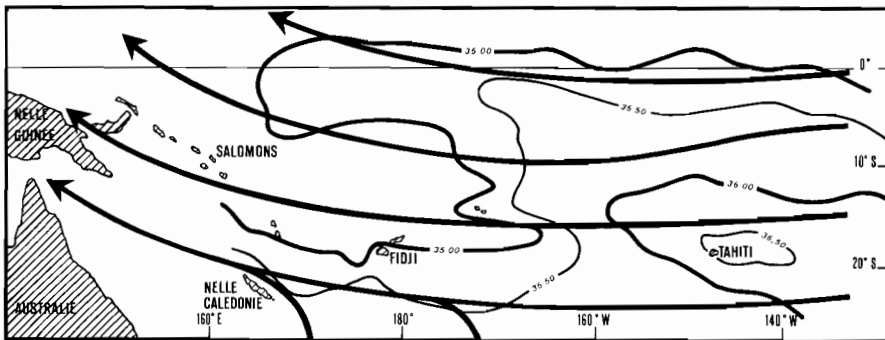
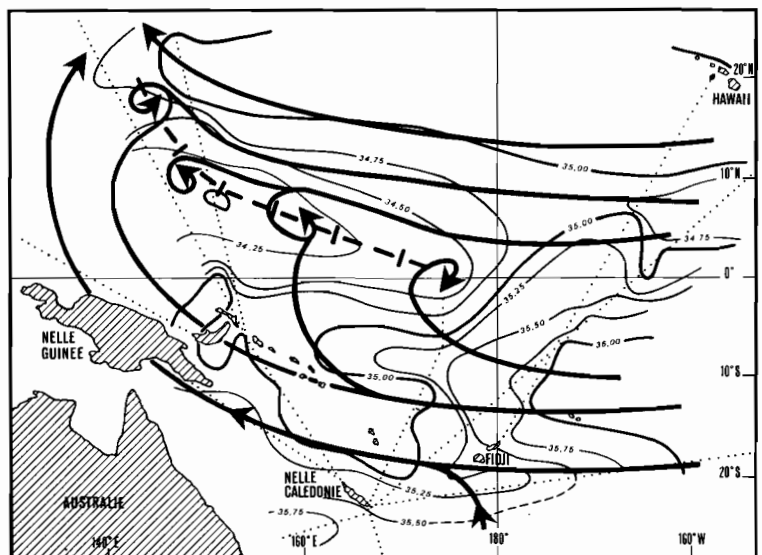


Figure 8  
Mean surface salinity, per mil, July-September 1956-1974. Wind direction is marked by arrows.

was situated almost on the Equator; between the Galapagos Islands and the American continent, the equatorial front had disappeared. Data gathered by merchant ships between Tahiti and Panama (Fig. 7) show that, in this area, in February, the trade-winds weaken or completely disappear with the result that the equatorial upwelling vanishes. Water from the Northern Hemisphere then crosses the Equator in a southerly direction. In 1975, this phenomenon lasted for almost three months, and the low-salinity water did not reach the American coast (Wyrтки *et al.*, 1976). In 1976 (Fig. 6), on the other hand,

water with salinity less than 34.0‰ flowed into the Southern Hemisphere and induced surface conditions resembling the “El Niño” phenomenon. The surface temperature was also between 1 and 3°C higher than the average, and this anomaly persisted until June, disturbing the industrial fisheries to a certain extent (Fishing Information, La Jolla, Calif.). Thus, a hydroclimatic anomaly occurred in February-March 1976 in the equatorial zone of the Eastern Pacific, while conditions were normal in the Western Pacific Ocean.

Figure 9  
Surface salinity, per mil, August 1976, in the Western Pacific. Wind direction is marked by arrows and the intertropical convergence zone of winds by a broken line.



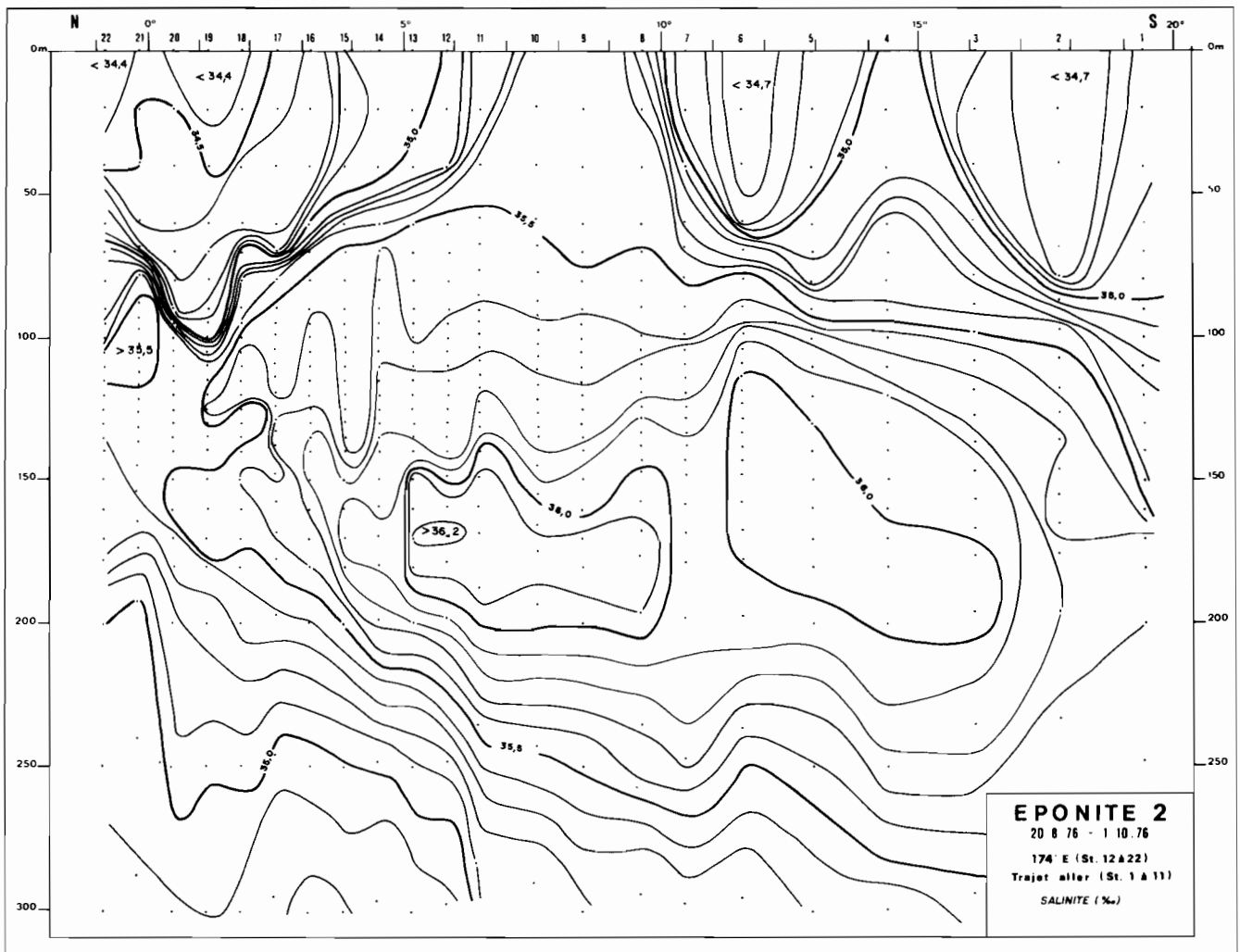


Figure 10  
Vertical distribution of salinity at 174°E in August 1976.

**August-September 1976**

The chart of mean surface salinity for the south-west tropical Pacific in August-September (Fig. 8), established from all the data available between 1956 and 1974, is very similar to that for February-March (Fig. 3): the equatorial maximum of salinity, which indicates equatorial upwelling extends further than in February-March, due to the setting of the east trade-winds, the isohaline 35.0‰ reaching westward 165°E. South of 5°S, the persistence of a low-salinity zone is observed but salinity is higher than in February-March, the convergence zone of the winds being located about 10°N, east of 150°E.

In August 1976 (Fig. 9), on the contrary, west of 180° the equatorial salinity maximum did not appear, and was replaced by a salinity minimum due to the location of the convergence zone of the winds from 10°N to the Equator. A salinity maximum was centred about 10°S. The vertical distribution of salinity at 174°E during the cruise Eponite 2 (Fig. 10) in August 1976 indicates that the equatorial divergence was replaced by a convergence. The Coral Sea, generally characterized by low-salinity water, was on this occasion occupied by water of salinity greater than 35.0‰, a phenomenon confirmed by the drought observed in the South Pacific islands. Finally, the tropical salinity maximum (S >36.0‰) reached the

177°W instead of the 150°W longitude. These anomalies closely resemble those observed in 1958 (Fig. 2).

In the Eastern Pacific, the surface features observed in August-September 1967 during the Eastropac expedition may be regarded as normal. The chart showing surface salinity and wind field (Fig. 11) reveals that the convergence zone of the winds is located at 10°N and that on the

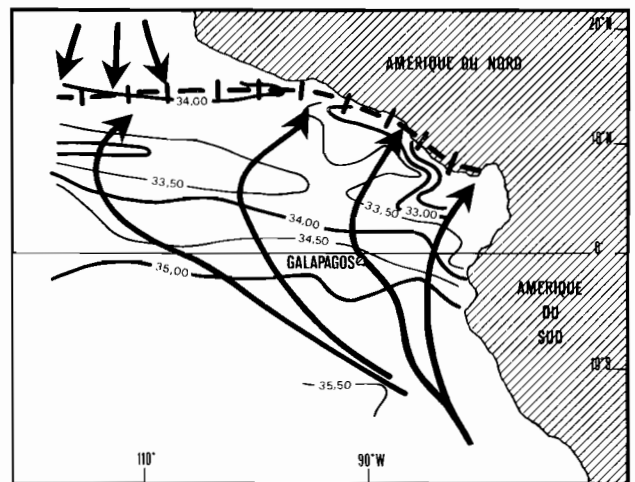


Figure 11  
Surface salinity, per mil, August-September 1967, in the Eastern Pacific (Eastropac Expedition). Wind direction is marked by arrows and the convergence zone of winds by a broken line.

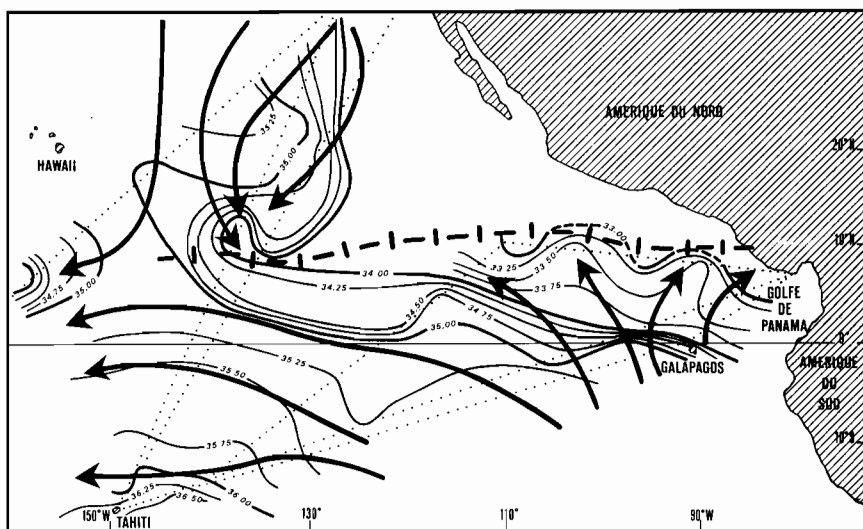


Figure 12  
Surface salinity, per mil,  
August-September 1976, in the  
Eastern Pacific. Wind direction  
is marked by arrows and the convergence  
zone of winds by a broken line.

equator, west of 100°W, east wind induced upwelling prevails. South of the Equator, salinity exceeds 35.0‰. In August-September 1976, surface conditions had returned to normal; the chart of surface salinity and wind field (Fig. 12) shows that the convergence zone of the winds is located at 10°N, as in August-September 1967 and that east winds are inducing the equatorial upwelling characterized by an intense salinity front separating the northern from the southern low-salinities ( $S > 35.0\text{‰}$ ).

### CONCLUSION

A hydroclimatic anomaly which occurs in September in the Western Equatorial Pacific Ocean is connected with another anomaly observed six months earlier in the Eastern Equatorial Pacific. The economic implications of such anomalies are far-reaching; the study of their mechanisms, which are probably closely related to

meteorological factors, might well constitute a preferential field of atmosphere-ocean research.

### REFERENCES

- Donguy J. R., Hénin C., 1974. Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150-160°E, *La mer (Bulletin de la Société franco-japonaise d'Océanographie)*, **12**, 2, 14-19.
- Donguy J. R., Hénin C., 1975. Surface waters in the north of the Coral Sea, *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, **26**, 293-296.
- Donguy J. R., Hénin C., 1976. Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific Ocean, *J. Mar. Res.*, **34**, 3, 355-364.
- Love C. M., 1972. *Eastropac Atlas*, **1**, US Department of Commerce.
- Ramage C. S., 1975. Preliminary discussion of the meteorology of the 1972-1973 "El Niño", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **56**, 2, 234-242.
- Wooster W. S., Guillen O., 1974. Characteristics of "El Niño" in 1972, *J. Mar. Res.*, **32**, 3, 387-404.
- Wyrtki K., 1975. "El Niño". The dynamic response of the Equatorial Pacific Ocean to atmosphere forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 572-584.
- Wyrtki K., Stroup E., Patzert W., Williams R., Quinn W., 1976. Predicting and observing "El Niño", *Science*, **191**, 4225, 343-346.



W. BOUR, J. MARCILLE, J.-P. REBERT,  
*océanographes à l'O.R.S.T.O.M.*

# Pêche thonière et conditions hydrologiques dans le Pacifique tropical Ouest

## Introduction

Les canneurs japonais pêchent chaque année des quantités importantes de bonites (listaos) dans le Pacifique tropical ouest. Cependant, les zones de pêche les plus favorables présentent souvent des déplacements importants d'une année à l'autre, contrairement à ce qu'il est courant d'observer dans l'Est Atlantique, par exemple. Le centre ORSTOM de Nouméa a mis en place, depuis 1969, un réseau permanent d'observation des eaux du Pacifique Ouest grâce aux navires marchands de la région. Ce réseau permet de suivre, mois par mois, les caractéristiques hydrologiques de surface, dont l'étude a mis en évidence une importante variabilité inter-annuelle. Il a donc semblé intéressant de mettre en relation les captures mensuelles de bonites réalisées par des canneurs japonais dans la zone intertropicale et les cartes de distribution mensuelle de la salinité de surface qui donnent, comme nous le verrons plus loin, une meilleure idée des changements hydrologiques de surface comparée à celle qu'apporterait la distribution des températures.

Les données de pêche proviennent des bulletins statistiques publiés par le Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory du Japon.

L'aire d'activité des grands canneurs japonais connaît divers types de variations : 1) une extension progressive vers les régions équatoriales et tropicales sud depuis 1972, pour l'exploitation de nouvelles zones de pêche ; 2) une visite saisonnière de ces régions éloignées du Japon, au cours de l'hiver boréal principalement ; de mai à juillet, beaucoup de canneurs retournent à proximité du Japon ; 3) des variations aperiodiques et à plus long terme (un à trois ans) qui, elles, semblent liées aux déplacements des zones de concentration des bonites, en partie consécutives aux variations hydrologiques.

Ce sont ces dernières variations que nous tenterons d'expliquer par les grands mouvements hydrologiques de surface mis en évidence dans le Pacifique ouest tropical.

## Conditions hydrologiques dans l'ouest Pacifique intertropical

### Situation générale

La zone du Pacifique intertropical située à l'ouest de 180° présente un certain nombre de particularités hydrologiques qui la distinguent du Pacifique central. Du point de vue météorologique, le régime d'alizé qui souffle d'Est le long de l'équateur est largement perturbé par le régime de mousson dû à la proximité des continents asiatique et, dans une moindre mesure, australien. Le principal effet de ces vents de mousson est : 1° d'affaiblir le régime général d'alizés dans toute la zone, les alizés étant renforcés par la mousson à l'équateur et dans l'hémisphère sud en été boréal et affaiblis, voire remplacés par des vents d'ouest, en hiver boréal ;

le phénomène inverse se produit dans l'hémisphère nord ; 3° de modifier la répartition et l'intensité des zones de convergence atmosphérique donc le régime pluviométrique ; il existe en fait deux zones de convergences situées de part et d'autre de l'équateur ; celle de l'hémisphère nord est particulièrement active en été boréal, et celle de l'hémisphère sud en hiver boréal. On a donc deux zones de maximum pluviométrique [fig. 1], centrées respectivement sur 6° N (maximum de mai à octobre) et 10° S (maximum de janvier à mai). L'équateur lui-même est caractérisé par un minimum pluviométrique, les alizés étant eux-mêmes divergents à l'équateur.

### Circulation océanique et caractéristiques hydrologiques de surface

La circulation superficielle qui résulte de l'action de l'ensemble du champ de vent dans le Pacifique est caractérisée par la présence de deux contre-courants bordant le courant équatorial qui porte à l'ouest, en gros, entre 3° N et 5° S. Le contre-courant nord équatorial s'écoule vers l'est entre 3° N et 9° N et existe dans tout le Pacifique. Le contre-courant sud-équatorial situé au sud de 5° S n'est bien développé que dans l'ouest Pacifique, conséquence directe des particularités du régime des vents dans cette région. Sous l'influence des alizés, une circulation verticale se développe dans les eaux

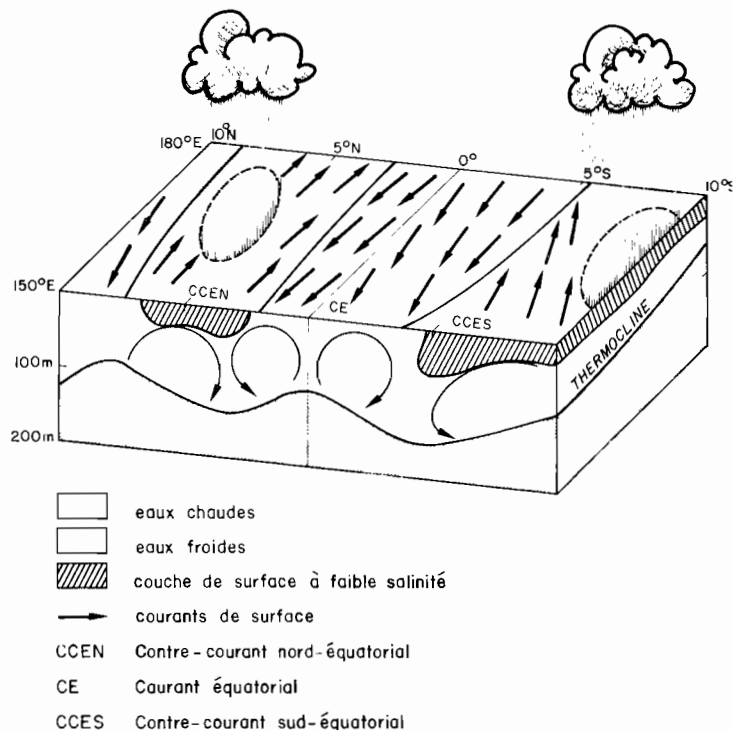


Fig. 1. — Distribution schématique des températures et des salinités dans les couches de surface du Pacifique occidental, en relation avec la circulation superficielle et les mouvements verticaux.

omprises entre la surface et les 200 premiers mètres environ, caractérisée par la classique divergence équatoriale, ou « upwelling équatorial », associée à deux zones de convergence situées vers 3° N et 5° S (fig. 1). Ces mouvements verticaux modifient la profondeur de la thermocline, tendant à diminuer l'épaisseur de la couche de surface à l'équateur et à l'augmenter dans les zones de convergence. L'upwelling équatorial est normalement caractérisé à l'équateur par des remontées d'eau froide plus salée et riche en sels nutritifs. Cependant, contrastant avec l'importance des variations saisonnières du régime des vents, l'hydrologie de surface est caractérisée par l'extrême uniformité des températures de surface dont l'évolution annuelle est inférieure à 1°C dans tout le secteur s'étendant de 10° N à 10° S ; les températures varient en fait suivant les années entre 28° et 30°C.

Les raisons de cette absence de refroidissement superficiel à l'équateur, à l'opposé de ce qui se passe dans l'Est Pacifique, sont simples. En effet, d'une part les alizés sont plus faibles et irréguliers que dans le Pacifique central, donc ces mouvements verticaux sont plus lents ; d'autre part, l'épaisseur de la couche de surface est considérablement plus forte que dans l'Est Pacifique en raison de l'accumulation d'eau chaude provoquée par ce transport continu vers l'ouest à l'équateur sous l'influence des alizés. Les mouvements verticaux s'exercent donc principalement à l'intérieur de cette couche isotherme et seule une faible proportion d'eau profonde arrive en surface. En conséquence, les zones de convergence ne sont matérialisées en surface par aucune différence sensible de température ; ceci limite d'ailleurs considérablement l'intérêt des descriptions du champ thermique de surface par des observations satellites en matière de prévision de concentrations de thonidés.

Par contre, les eaux de forte salinité (supérieure à 35 ‰) entraînées en surface par l'upwelling équatorial entrent en contact au cours de leur trajet méridien avec les deux masses d'eau dessalées formées dans les zones de maximum pluviométrique et qui se situent dans les deux contre-courants équatoriaux. La convergence est donc matérialisée en surface par un gradient plus ou moins fort de salinité, c'est-à-dire un front halin. La position de ce front halin peut être localisée de façon acceptable sur une carte par l'isohaline de surface 35 ‰. Ce paramètre ne renseigne évidemment ni sur l'intensité de la convergence, ni sur l'enrichissement biologique qui peut s'y produire, phénomènes qui dépendent à la fois du régime des courants et des écarts de densité, donc de salinité entre les masses d'eau en présence. Cependant, il s'agit d'un moyen commode pour identifier le type de situation hydrologique devant lequel on est en présence.

### Les situations anormales

Le schéma décrit précédemment ne représente que la situation la plus courante. Or, il est susceptible de bouleversements profonds et durables. En effet, il arrive que pendant d'assez longues périodes, pouvant atteindre un an, l'alizé ne souffle plus à l'équateur et est, au contraire, remplacé par des vents d'ouest (fig. 2). Cette situation est d'ailleurs en liaison directe avec le phénomène bien connu dans l'Est Pacifique sous le nom « d'El Niño » dont les conséquences sur la pêche sont notoires. Dans ce cas, le courant de surface à l'équateur peut s'inverser et porter à l'Est. L'upwelling équatorial est alors remplacé par une convergence. Les eaux s'enfoncent à l'équateur. Des divergences se forment simultanément aux plus hautes latitudes. En même temps, les vents d'ouest étant eux-mêmes convergents à l'équateur, de très fortes précipitations se développent dans la zone équatoriale, alors que les zones tropicales connaissent un déficit pluviométrique. On a donc une situation totalement inverse

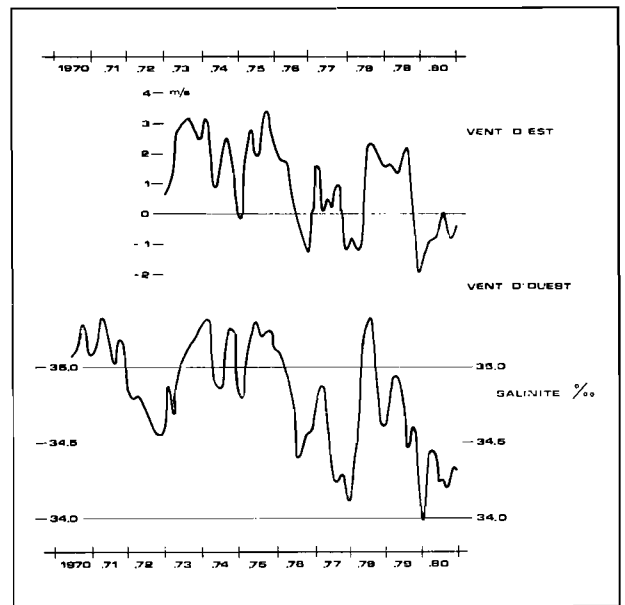


Fig. 2. — Variations de la salinité de surface et de la composante Est-Ouest de la vitesse du vent dans la zone équatoriale comprise entre 150° E et 160° E, de 1973 à 1980.

de la précédente, une zone dessalée et pauvre en surface pouvant s'étendre de l'équateur jusqu'à 10° S.

La salinité à l'équateur est donc très bien reliée aux vents locaux (fig. 2) grâce aux doubles mécanismes des mouvements verticaux et de la pluviométrie qui agissent tous deux dans le même sens : aux vents d'Est correspondent des remontées d'eau salée et riche et un minimum de pluie, aux vents d'Ouest correspondent une convergence en surface et de fortes précipitations. La salinité de surface qui résulte de la combinaison de ces deux facteurs peut donc être considérée comme un indicateur intéressant des mouvements en surface et de la situation globale de l'écosystème équatorial.

### Relation pêche thonière de surface - salinité de surface

Une première étude (Donguy et al., 1978) avait permis de constater, sur des cartes trimestrielles de captures de bonites par les canneurs japonais, une bonne corrélation entre l'extension de l'upwelling équatorial, matérialisée par le contour de l'isohaline 35 ‰, et la distribution des captures japonaises.

Des cartes mensuelles reliant pêche et salinité ont pu être établies pour la période : octobre 1975-décembre 1978. Une sélection des cartes est présentée ici (planches 1 et 2), afin de montrer quelques cas typiques que l'on peut rencontrer au cours de ces trois années.

Sur chaque carte est indiqué le mois pendant lequel s'est effectuée la pêche ; l'isohaline 35 ‰ est celle du mois précédent. Cette représentation a été adoptée pour tenir compte du déphasage existant entre les modifications hydrologiques et la réponse des organismes marins.

#### Carte NOVEMBRE 1975

L'upwelling est bien marqué au cours de ce mois, les eaux salées baignent la zone équatoriale au-delà de 150° E. Les captures importantes de bonites sont localisées à l'extérieur de l'upwelling, dans les eaux moins salées, et semblent particulièrement abondantes à proximité de l'isohaline 35 ‰.



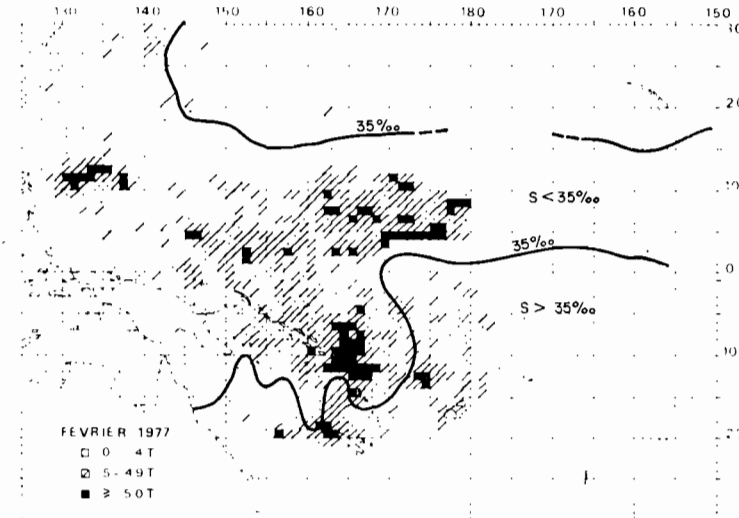
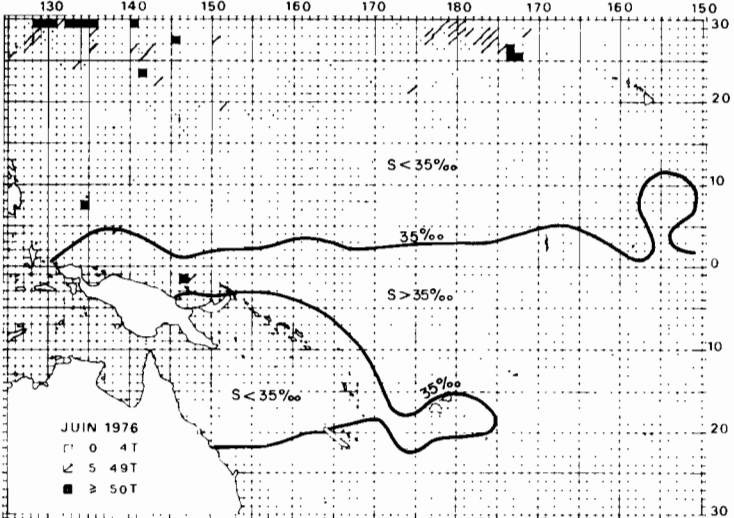
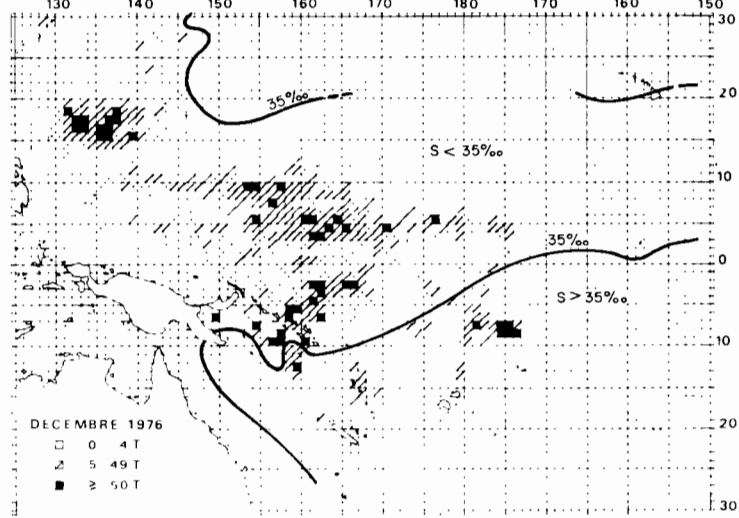
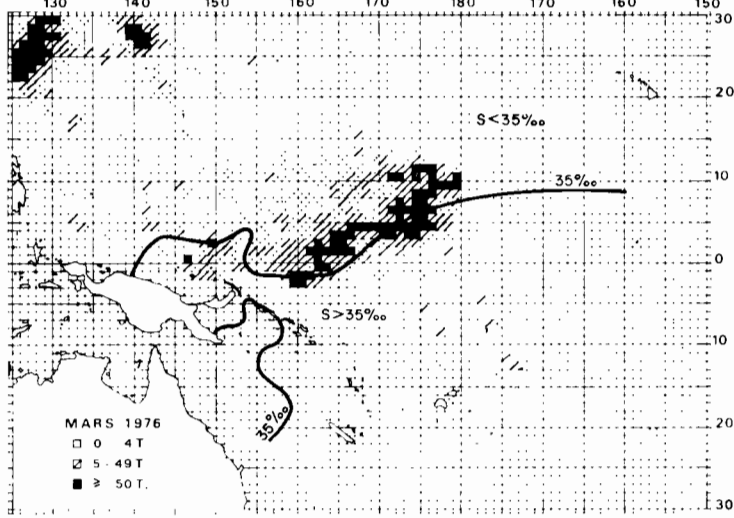
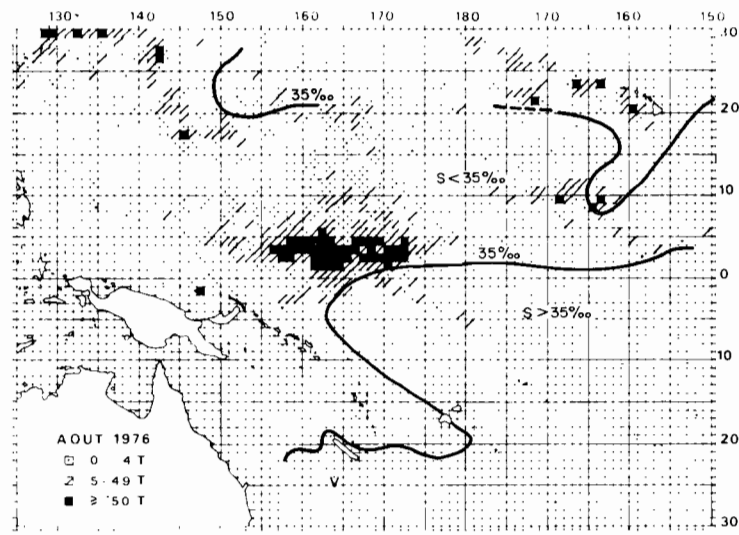
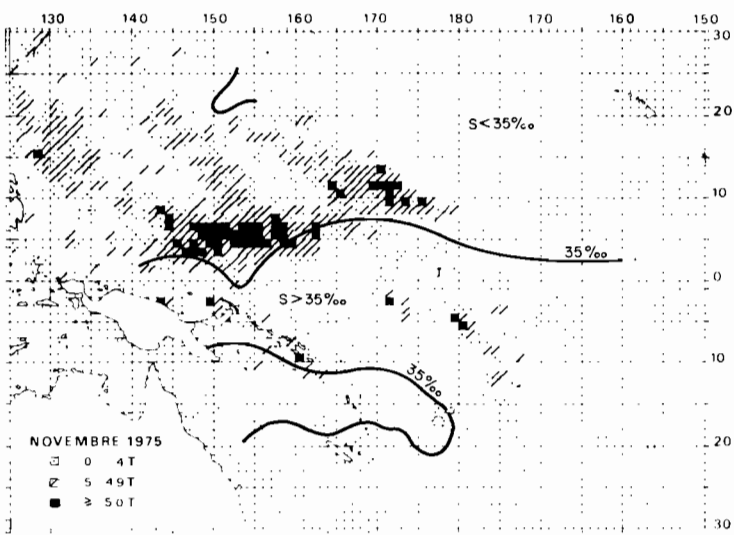


Planche 1 : Distribution des captures de bonites par degré carré et salinité de surface dans le Pacifique Occidental pour différents mois entre novembre 1975 et février 1977

La carte montre que des canneurs sont venus pêcher jusqu'à 10° S et au-delà avec beaucoup moins de succès.

Il semble donc que la convergence, limitant l'extension des eaux de l'upwelling vers le nord, concentre les bonites dans son voisinage.

#### **Carte MARS 1976**

L'upwelling équatorial a sérieusement régressé ; nous rentrons d'ailleurs à cette époque dans une période de conditions hydrologiques anormales pendant laquelle la persistance des vents d'ouest empêchera le développement habituel de l'upwelling. La zone de pêche active peut se déployer jusqu'à l'Equateur, mais reste malgré tout inféodée à l'isohaline 35 ‰.

#### **Carte JUIN 1976**

Cette carte pourrait laisser croire qu'aucune concentration de bonites ne se trouvait, au cours du mois de juin, à proximité de la convergence. En réalité, la flottille de canneurs japonais effectuée de mai à juillet une saison de pêche à proximité de ses côtes et ne repart vers la zone tropicale qu'au début de l'automne boréal. Il y a donc certains mois où la relation pêche-35 ‰ ne peut être mise en évidence, sauf si la saison de pêche au Japon est médiocre ; dans ce dernier cas, de nombreux canneurs resteront toute l'année dans la zone intertropicale.

#### **Carte AOÛT 1976**

Les canneurs sont revenus dans le secteur qui nous intéresse et réalisent de bonnes captures vers 3° N. L'isohaline 35 ‰ dénote un upwelling en début de formation, mais qui ne dépasse pas 160° E.

#### **Cartes DECEMBRE 1976 - FEVRIER 1977**

Ces deux cartes illustrent très bien une situation hydrologique anormale. L'upwelling est quasi inexistant et fait place à une convergence vers 10° S. Les canneurs japonais étendent alors leur activité loin vers le sud, toujours à proximité de l'isohaline 35 ‰, mais dans ce cas son rôle de zone favorable aux concentrations de bonites est beaucoup moins net. En février, la zone d'action des canneurs est très vaste et déborde largement les eaux de salinité supérieure à 35 ‰. En l'absence d'upwelling, les facteurs favorables à la concentration des bancs de bonites semblent beaucoup plus diffus ; la pêche apparaît possible dans toute la région intertropicale du Pacifique ouest.

#### **Carte MARS 1977**

Des vents de nord-est prédominent au cours de ce mois, amenant des eaux salées loin vers l'ouest. Il n'y a pas eu véritablement reprise de l'alizé provoquant l'upwelling équatorial. L'isohaline 35 ‰ est rejetée à l'ouest, mais ne marque pas, dans ce cas, une zone de convergence favorable à la pêche.

#### **Cartes AOÛT 1977 - SEPTEMBRE 1977**

Un début d'upwelling semble se former au mois d'août, mais le mois de septembre confirme que son extension reste limitée. L'effet de la convergence vers 5° N se fait peu sentir et la pêche de bonites se poursuit aisément près de l'Equateur. Il est néanmoins remarquable que les captures élevées restent à proximité de la ligne 35 ‰ et du côté dessalé, au mois de septembre.

#### **Carte FEVRIER 1978**

L'upwelling équatorial est très réduit, voire inexistant à l'ouest de 180° où il est remplacé par une convergence due au vent d'ouest. La pêche se concentre manifestement au voisinage de la convergence équatoriale. Dans ce cas, l'isohaline 35 ‰, rejetée vers 10° S, a une signification moins précise ; elle montre seulement la persistance d'une zone d'eau plus salée en surface, au Sud de 10° S comme chaque carte mensuelle le souligne.

La circulation complexe qui prévaut dans le Pacifique Ouest, au Sud de 5° S, exclut toute tentative de relation thonohydrologie, analogue à celle du nord de l'Equateur.

#### **Carte SEPTEMBRE 1978**

Cette carte est intéressante car elle semble montrer l'inverse de ce qui a été observé auparavant ; en effet, les captures des canneurs ont été surtout réalisées dans le secteur de salinité supérieure à 35 ‰. Il faut rappeler que, depuis 1976, l'upwelling n'a pu se développer correctement ; dans ces conditions, la limite nord des 35 ‰ perd son rôle d'indicateur d'une convergence susceptible de concentrer les thonidés.

#### **Carte DECEMBRE 1978**

Depuis deux mois, les vents soufflent à nouveau de l'Est, permettant une certaine progression de l'upwelling. La convergence hydrologique doit normalement se renforcer au niveau de 5° N et peut expliquer le regroupement des canneurs japonais à son voisinage.

### **Rôle écologique de la convergence nord engendrée par l'upwelling équatorial**

L'examen détaillé des cartes précédentes a mis en évidence les faits suivants :

a) en cas d'upwelling bien développé, la pêche se concentre sur la bordure nord de cet upwelling, au niveau de la plongée des eaux salées, donc de la convergence liée à ce dernier. L'abondance des bonites paraît fortement diminuée au sud de cette convergence. La pêcherie n'atteint pas l'équateur ;

b) en cas d'upwelling nul ou très réduit, une convergence des eaux va se développer à l'équateur ou plus au sud en fonction des vents ; la pêcherie va alors se déployer vers l'est et le sud, les conditions de concentration devenant beaucoup plus floues. En effet, les fortes précipitations liées aux vents d'ouest élargiront la zone dessalée et éloigneront l'isohaline 35 ‰ de la zone effective de convergence.

Une tentative d'explication peut être donnée à ces phénomènes : l'upwelling apporte en surface des eaux riches en sels nutritifs, favorables à une prolifération phytoplanctonique. Cette amorce de chaîne alimentaire, du fait de la divergence des eaux vers le nord et le sud (composante méridienne), va se poursuivre avec les organismes supérieurs de la chaîne alimentaire en s'écartant de l'équateur. Au niveau de la plongée des eaux, c'est-à-dire de la convergence, beaucoup d'organismes planctoniques vont être concentrés d'où attraction des petits pélagiques planctonophages, base de la nourriture des thonidés.

Globalement, on peut dire que les maxima d'abondance des différents groupes biologiques seront d'autant plus éloignés de l'axe de l'upwelling que le niveau occupé par ces organismes dans la chaîne alimentaire sera plus élevé. Cette

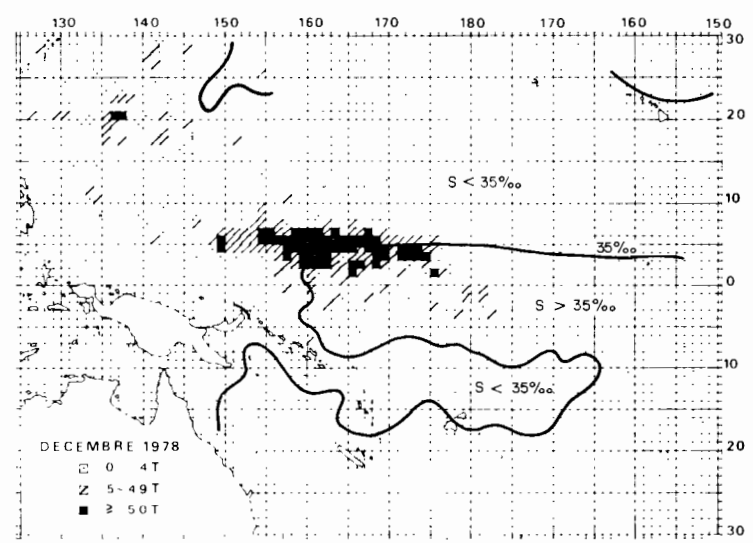
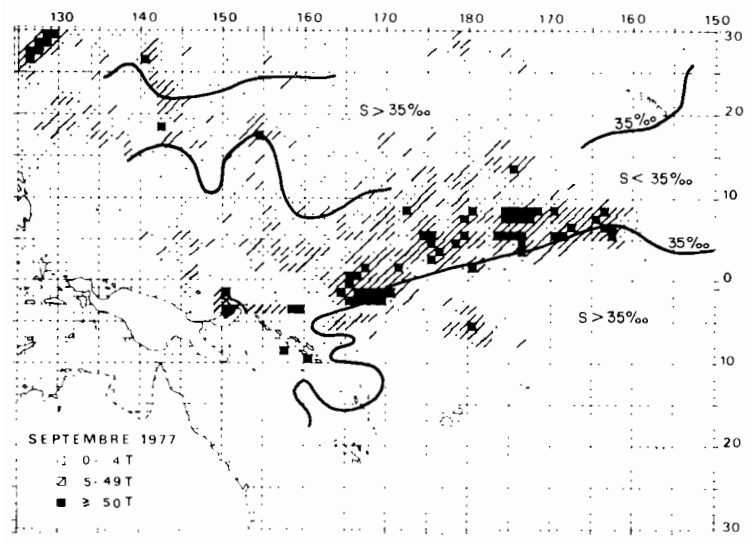
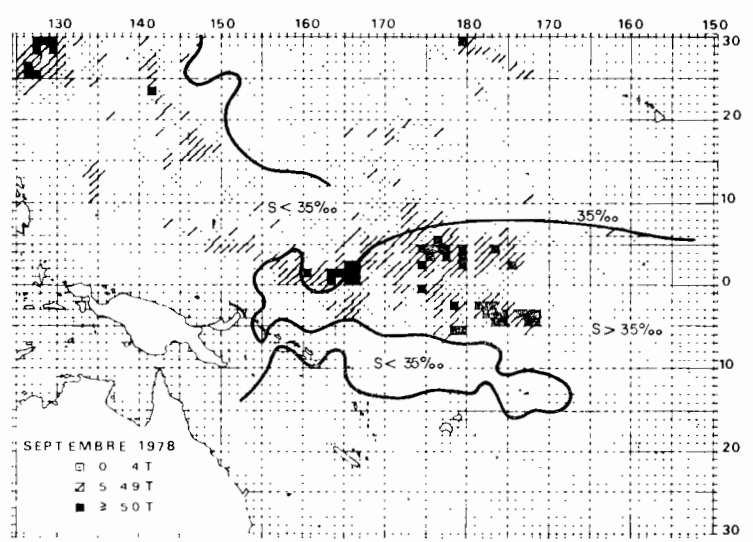
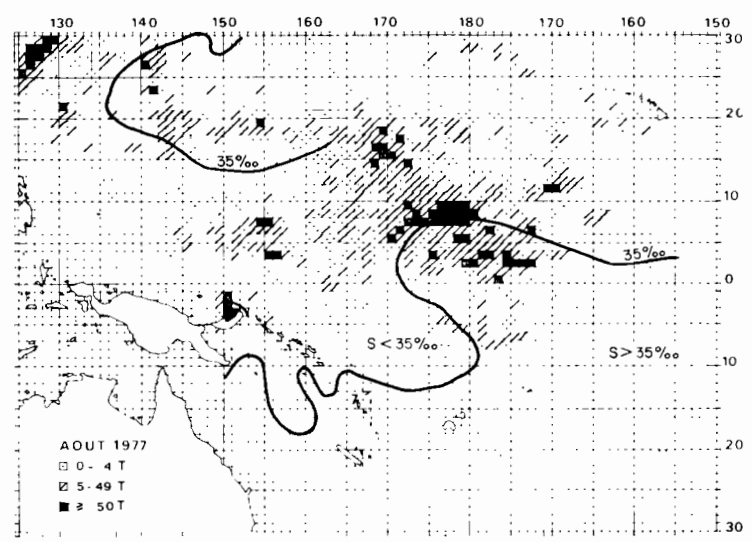
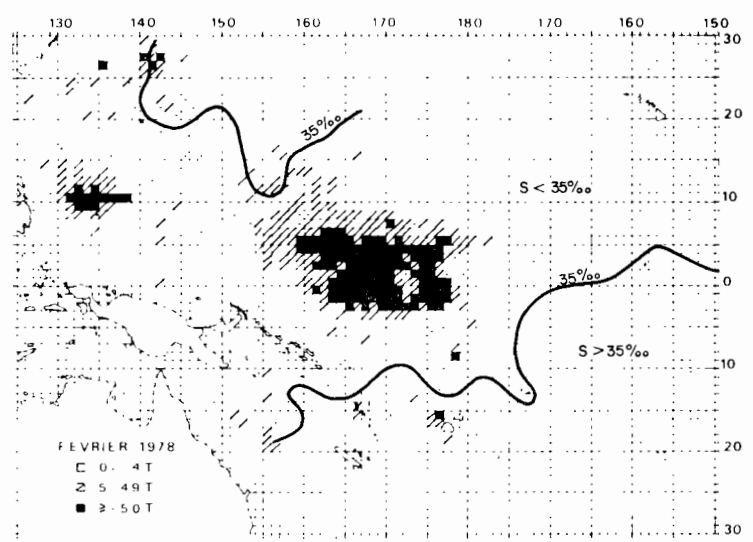
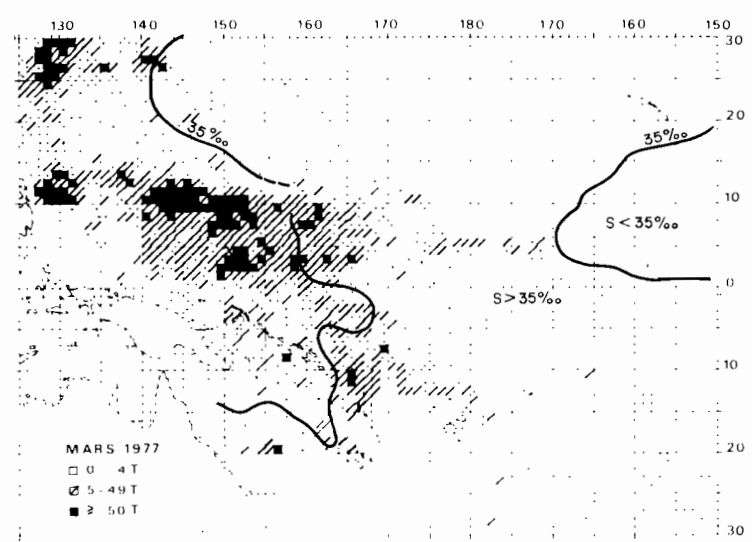


Planche 2 : Distribution des captures de bonites par degré carré et salinité de surface dans le Pacifique Occidental pour différents mois entre mars 1977 et décembre 1978

théorie est appuyée par différents travaux sur les biomasses planctoniques à proximité de l'équateur dans le Pacifique Ouest.

Gueredrat et Velayoudon (1975) ont montré qu'en juillet 1973 (fig. 3), le maximum d'abondance des copépodes herbivores était situé à 3° N, alors que la prolifération de phytoplancton était maximale sur l'équateur.

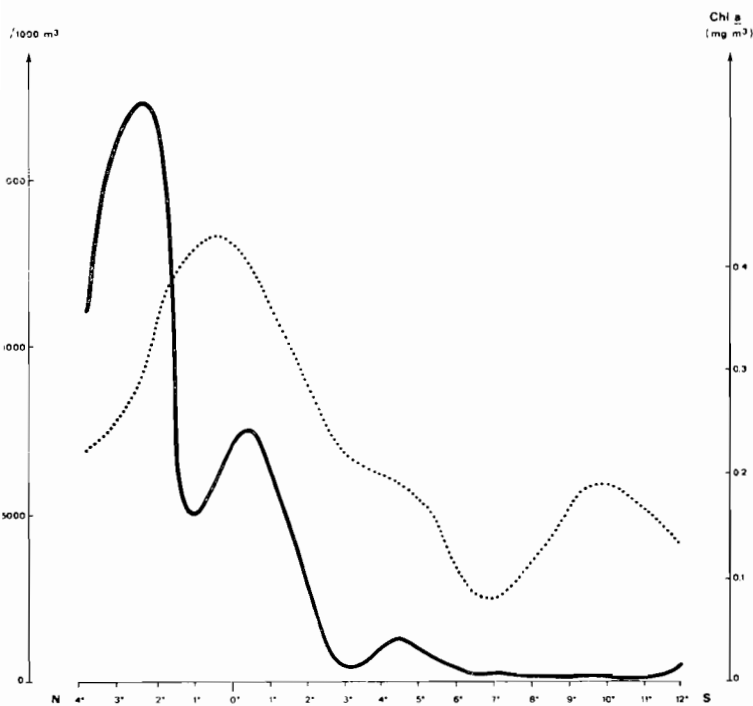


fig. 3. — Abondance de copépodes herbivores (trait plein) et chlorophylle a (pointillé), de 4° N à 12° S, à 170° E, en juillet 1973.

Suivant Repelin (1978), le maximum d'abondance des amphipodes carnivores le long de 170° E (fig. 4) coïncide nettement avec la position des convergences situées de part et d'autre de l'équateur.

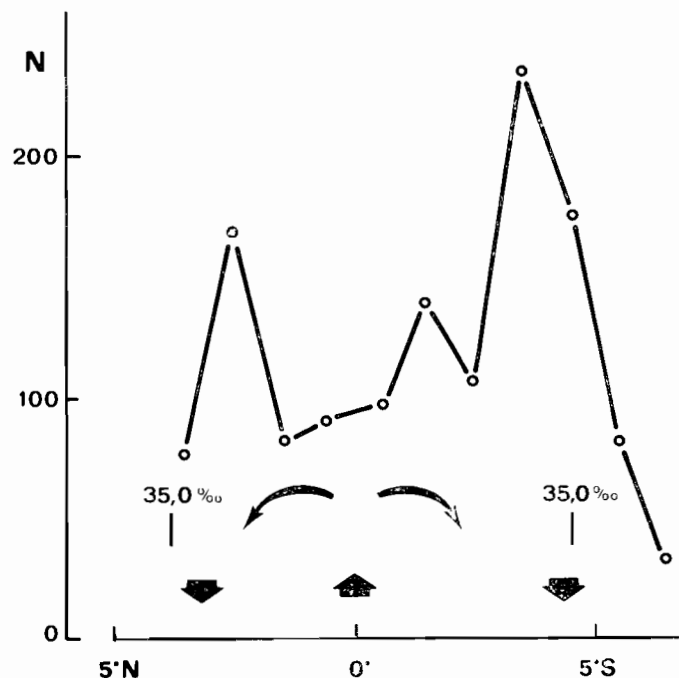


Fig. 4. — Abondance des amphipodes carnivores le long de 170° E dans le cas d'une divergence équatoriale. La position de l'isohaline 35,0 ‰ et les mouvements verticaux des masses d'eau sont aussi figurés (croisières de 1966).

La prolifération des organismes herbivores est donc plus proche de l'équateur que celle des carnivores, en cas d'upwelling établi, ce qui confirme notre hypothèse de concentration des proies recherchées par les thonidés à proximité des convergences hydrologiques. Cet effet de concentration est certainement fonction de l'écart de densité, donc de différence de salinité, des eaux en présence au niveau des convergences. Plus cet écart sera élevé, plus réduit sera le mélange des eaux en contact. Un upwelling créé par une longue période de vents d'Est associée à un déficit pluviométrique à l'équateur sera favorable à cette dernière situation ; par contre, une situation transitoire diminuant l'upwelling, donc l'apport d'eau salée en surface, sera néfaste à cet effet « piège à plancton » des convergences, d'où un impact moins marqué sur la distribution de la pêche.

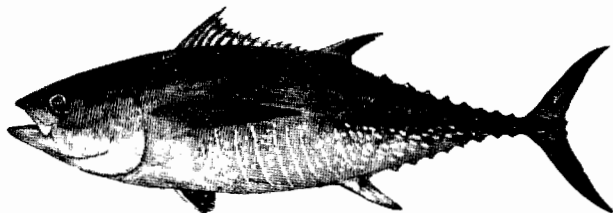
## Conclusion

Des travaux similaires, entrepris par l'Agence des pêches du Japon, mettent en relation la pêche des canneurs et la force des courants. Il a été observé de façon empirique que la pêche était meilleure dans les courants plus intenses. Vraisemblablement, il s'agit d'un second aspect d'une même catégorie de phénomènes qui découlent des interactions entre les conditions météorologiques et hydrologiques de l'ensemble du Pacifique.

Une collaboration internationale se développe actuellement pour étudier de façon globale ces interactions, afin d'aboutir à une prévision, à moyen ou à long terme, des modifications du milieu marin, ce qui ne manquera pas d'apporter des éléments utiles à la prospective des campagnes de pêche.

## Bibliographie

- Anonyme (1975 à 1978). — Annual report of effort and catch statistics by area, Japanese skipjack baitboat fishery. Research and Development Division, Fisheries Agency of Japan.
- DONGUY (J.R.), HENIN (C.), 1978. — La salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical Sud-Ouest. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. XVI, n° 2 : 107-136.
- DONGUY (J.R.), BOUR (W), GALENON (P.), GUEREDRAT (J.A.), 1979. — Les conditions océanographiques et la pêche de la bonite (*Katsuwonus pelamis*) dans le Pacifique occidental. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. XVI, n° 3-4 : 309-317.
- GUEREDRAT (J.A.), VELAYOLIDON (H.), 1975. — Space time relationships between planktonic communities and equatorial current system in the Western Pacific. Communication 13<sup>e</sup> congrès des sciences du Pacifique, Vancouver.
- MARCILLE (J.), BOUR (W), 1981. — La pêche des thons à la senne et à la canne dans l'océan Pacifique tropical. Situation actuelle et perspectives de développement. Trav. et Doc. de l'ORSTOM, n° 134, 259 p.
- REPELIN (R.), 1978. — Les Amphipodes pélagiques du Pacifique occidental et central. Trav. et Doc. de l'ORSTOM, n° 86, 381 p., 130 fig.
- ROTSCHI (H.), WAUTHY (B.), 1973. — Hydrologie et dynamique dans le Pacifique occidental tropical en relation avec les mécanismes de fertilisation. Bull. Muséum national d'histoire naturelle, 3<sup>e</sup> série, n° 147 : 65-81.





Michel PETIT et Francis MARSAC,

*océanographes à l'ORSTOM*

## **Pêche et télédétection**

**Présentation des opérations de radiométrie aérienne  
et prospection thonière dans le Pacifique tropical Sud**



D'importantes opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière se déroulent depuis 1979 dans le Pacifique Sud afin de rechercher de nouvelles aires de pêche. L'examen rapide de la technique elle-même sera suivi d'une présentation détaillée de ces opérations et de leurs premiers résultats, après les avoir placées dans le contexte de la pêche au thon dans cette région.

## Radiométrie aérienne et prospection thonière : principe et technique

### 1) Rappels sur la physiologie des thons : intérêts des zones frontales pour les thonidés

Les concentrations de thonidés sont liées à des structures hydrologiques particulières et assez souvent à des zones dites frontales, c'est-à-dire de zones de contact entre masses d'eau de caractéristiques (température, salinité, teneur en chlorophylle, etc.) différentes. Ce fait, connu et utilisé depuis longtemps, n'a été expliqué que partiellement : les thonidés ont un besoin important en énergie lié, d'une part, au maintien de leur température interne nettement au-dessus de celle du milieu ambiant, d'autre part, à une croissance très rapide. Ce besoin en énergie nécessite une alimentation très abondante et la nourriture correspondante se trouve souvent dans les zones frontales. Schématiquement, quelles que soient ses origines, une masse d'eau froide riche en sels minéraux, ramenée en surface, engendre une chaîne trophique pouvant aboutir finalement aux thons : le phytoplancton, se développant grâce à « l'engrais » que constituent les sels minéraux, est mangé par le zooplancton qui est, avec ses prédateurs, la principale nourriture des thonidés. Il faut donc un certain délai — une maturation des eaux froides — avant d'y trouver du thon (fig. 1). L'affrontement des masses d'eau en surface est consécutif aux phénomènes de remontées d'eau dues à la présence de hauts fonds, îles et récifs, ou de systèmes de courants. Ce schéma est un des plus fréquents.

La structure thermique du milieu joue donc un rôle primordial dans l'éthologie des thonidés. La radiométrie aérienne infra-rouge qui aide à décrire cette structure peut donc permettre de cerner les secteurs potentiellement favorables aux concentrations de thonidés.

### 2) Présentation de la technique utilisée dans une opération de « radiométrie aérienne et prospection thonière »

Lorsque le but des vols se limite à la recherche des thonidés, le plan de vol ne doit pas correspondre à une recherche aléatoire ou géométrique préparée *a priori* et inflexible, mais plutôt à une accumulation de renseigne-

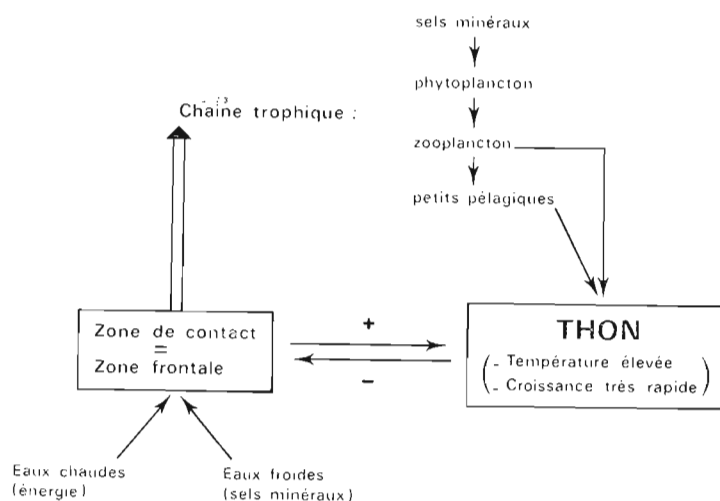


Fig. 1. — Relations thon zone frontale

ments ayant trait à l'écosystème des thonidés (fig. 2). Au cours du vol, deux types d'opérations sont menés ensemble (fig. 3) :

#### Les relevés thermiques :

Le radiomètre Barnes, embarqué à bord de l'avion (photo 1), est un appareil permettant de mesurer l'énergie infra-rouge émise par la mer et d'en déduire la température de surface. Cette mesure, dont la précision est de l'ordre de 0,2° C, se fait en continu et est enregistrée. Elle permet une interprétation immédiate des potentialités des eaux survolées, par le biais des structures thermiques de surface, et peut faire modifier le plan de vol en cours de façon à cerner davantage les zones frontales. D'autres paramètres sont également notés : nébulosité, état de la mer, couleur de l'eau (les eaux vertes sont généralement plus riches), direction et vitesse du vent, etc.



Photo 1. — Avion utilisé en Nouvelle-Calédonie pour la radiométrie aérienne et la prospection thonière

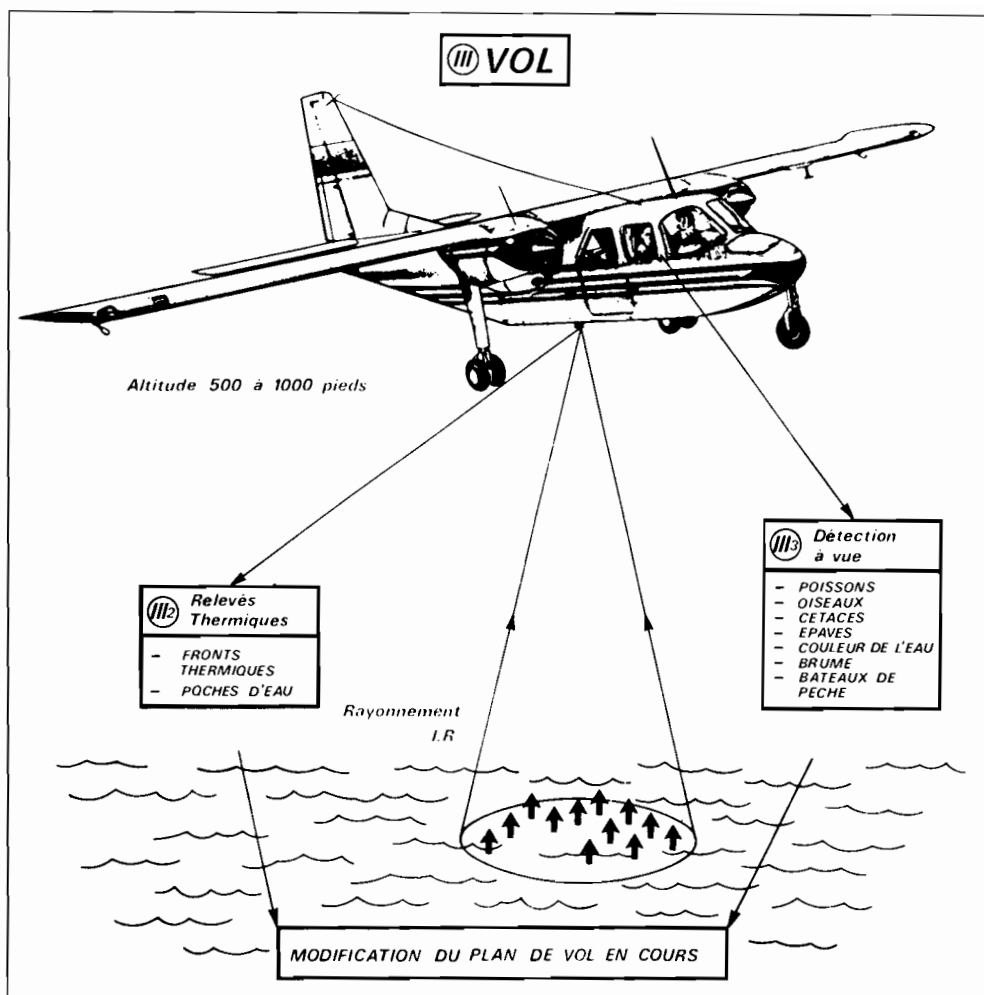


Fig. 3

Période	Nombre d'heures de vol	Région
Fév.79 - Fév.80	450 à 500	Nouvelle Calédonie - Wallis et Futuna
Mars80 - Sept.81	450 à 500	Nouvelle Calédonie - Wallis et Futuna
Mars80 - Nov.81	250 à 300	Vanuatu
Mars81 - Déc.81	450 à 500	Polynésie Française
Sept.81 - Juil.82	200	Nouvelle Calédonie

Tableau no.1 : Répartition des heures de vol de l'opération "Radiométrie Aérienne et Prospection Thonière" dans le Pacifique Sud

### La pêche thonière de surface dans les eaux du Vanuatu et des territoires français du Pacifique Sud

Les ressources en thon du Vanuatu, de la Nouvelle-Calédonie et de la Polynésie française sont exploitées en surface de diverses façons mais, dans tous les cas, faiblement.

Une pêche artisanale de type tahitien (bonitiers de 8 à 12 m très rapides, utilisant le leurre en nacre) est embryonnaire en Nouvelle-Calédonie (60 t/an) et traditionnelle en Polynésie, dans les îles de la Société (environ 1 000 t/an); on note également quelques activités aux Tuamotu et aux Marquises.

Outre quelques essais expérimentaux, les premiers à inaugurer une pêche industrielle dans la région ont été les canneurs japonais. Depuis 1975, le nord de la Nouvelle-Calédonie est exploité par ces derniers principalement en été austral (novembre à mars) (tabl. n° 2). Depuis 1979, un accord entre la France, le territoire de Nouvelle-Calédonie et le Japon régleme cette pêche.

Depuis 1980, des raisons diverses ont amené d'autres sociétés à s'intéresser à cette région, et en particulier à la Nouvelle-Calédonie. Les bons résultats obtenus en 1979 par la prospection aérienne quant à la présence et à la concentration des thonidés dans les eaux calédoniennes ne sont pas étrangers à la venue de leurs bateaux. Il est logique que les premiers essais aient été pratiqués par les sennieurs américains (sociétés Star-Kist et Van Camp, en mai-juin 1980) puisque leur activité s'exerce sur deux régions proches de la Nouvelle-Calédonie : Nouvelle-Zélande en été austral et Papouasie Nouvelle-Guinée. La première société française de pêche industrielle (Trans-pêche) vient de s'installer à Nouméa. Sa première unité (canneur *Coralie*) est opérationnelle depuis septembre et deux autres bateaux sont attendus avant juin 1982.



Période	Captures (tonnes)	Rendement (tonnes/jours de pêche)
Mars 75	252	9 - 10
Février 77	900	8-10(2-3 en fin de mois)
Nov.- Déc. 79	3200	12 - 8
Fév.- Mars 80		

Tableau no. 2 : Pêche thonière des canneurs Japonais dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie

## Les opérations mises en place par l'ORSTOM et leurs résultats

### 1) But et apport de ces opérations

En fait, tous les efforts réalisés et coordonnés depuis deux ans dans cette région, qu'il s'agisse de prospections aériennes ou des expériences de bateaux de pêche, ont pour origine l'idée qu'il s'avère nécessaire de rechercher de nouvelles aires de pêche à partir des territoires du Pacifique Sud, afin d'assurer dans les années à venir un nouveau développement de la pêche thonière (notion de redéploiement). Le contrat qui lie le secrétariat d'Etat au DOM-TOM et l'ORSTOM pour la prospection aérienne souligne dans le préambule que : « en raison de la création de la zone économique des 200 milles... il est apparu nécessaire de procéder rapidement à une évaluation des potentialités de pêche des thonidés et plus particulièrement celle des bonites dans la zone économique; ceci afin de permettre à chaque territoire de mieux appréhender, en ce qui concerne ces espèces, les ressources de sa propre zone et aussi de pouvoir participer à la gestion rationnelle et conservatrice des stocks ».

L'avion a permis une reconnaissance rapide et répétitive d'une surface océanique considérable très mal connue tant dans le domaine des pêches que celle de l'océanographie. Les zones potentiellement riches en thonidés dans le temps et l'espace, déterminées dans leurs grandes lignes par cette étude, sont primordiales pour les professionnels qui utilisent cette technique sur les pêcheries traditionnelles.

### 2) Les résultats

#### a) En Polynésie.

Il est encore trop tôt pour analyser les résultats de Polynésie puisque seulement la moitié des vols prévus a été faite dans cette région. Au cours des deux premières missions (février, mars et mai, juin 1981), il n'a pas été possible de mettre en relation la présence de thonidés avec des structures thermiques de surface. Aussi, à ces périodes, si la prospection à vue garde toute sa valeur pour apprécier les potentialités thonières de la zone, la radio-nétrie n'apparaît pas comme l'outil décisif pour la pré-lection de secteurs favorables dans les eaux polynésiennes. En février-mars, les archipels des Marquises et des Îles-ous-le-Vent se sont révélés les plus riches. En mai-juin, nous avons constaté une diminution globale des mattes observées, en particulier aux Marquises.

#### b) En Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu.

Durant la première année, les vols ont été effectués au cours de trois périodes :

- février-avril 1979;
- juin-juillet 1979;
- novembre 1979-février 1980.

— Au cours de la première période (février-avril 1979), les observations de thonidés les plus nombreuses ont été faites entre 22° S et 23° S de part et d'autre de la Nouvelle-Calédonie, ainsi que plus à l'Est dans la région comprise entre les îles Matthew et Hunter (22 à 23° S - 171° à 172° E). De bonnes concentrations ont été ainsi observées dans l'ouest et le nord de l'île jusqu'aux récifs d'Entrecasteaux et aux îles Chesterfield. La température des eaux de surface avoisine alors 26° C à 28° C.

— Au cours de la seconde période (juin-juillet 1979), les eaux se refroidissent progressivement; les principales observations ont été faites vers 19° S dans le chenal du Vanuatu qui présente alors une grande instabilité thermique et où une zone frontale marquée a été trouvée. De belles « mattes » d'albacore ont été observées du côté chaud du front. Des observations de bancs mélangés sont aussi faites le long du récif Ouest dans les eaux de 22-23° C.

— La troisième période (novembre 1979-février 1980) a été caractérisée par des vents relativement forts et une grande instabilité thermique. On observe un réchauffement progressif des eaux et l'isotherme 26° C, que l'on trouve vers 18° S en novembre-décembre, est situé vers 25° S en janvier-février. Du fait des alizés et des forts vents d'Est et Sud-Est, les conditions d'observation ont souvent été difficiles; la majorité des mattes a été observée sur la côte Ouest, les conditions d'observation étant meilleures que dans les autres secteurs.

La deuxième année a pratiquement confirmé ces résultats, notamment :

— En mai 1980, de nombreux vols ont été effectués sur la côte Ouest pour aider les senneurs américains dans leurs opérations de recherche. Quelques petits brisants de listaos ont été observés, mais la principale espèce rencontrée a été l'albacore. Les principales observations sont résumées dans le tableau 3. Les bancs d'albacore formaient fréquemment des brisants ou des balbayas.

— En novembre et décembre 1980, de nombreuses mattes de listao, probablement sennables, ont été observées dans la région Nord-Ouest au large des îles Belep.

Tableau 3 : observations effectuées en mai 1980 (21 vols totalisant 120 heures)

Taille estimée des bancs	Listao	Albacore	Mélange listao + albacore	Total
0 - 10 t .....	34	44	8	86
10 - 50 t .....	8	9	10	27
50 - 100 t .....		5	3	8
> 100 t .....		3		3
TOTAL .....	42	61	21	124

Nous n'avons pas mis en évidence d'effet saisonnier très net. Les listaos sont surtout abondants pendant la saison chaude, de novembre à mars, dans le nord de la Nouvelle-Calédonie, mais on en trouve aussi à cette saison

sur la côte Ouest et dans le Sud et le Sud-Est. En avril-mai, les bancs de listaos sont moins nombreux, mais la saison de l'albacore commence alors et se poursuit, semble-t-il, jusqu'en juin-juillet. Les ressources en thon en Nouvelle-Calédonie, tantôt listao, tantôt albacore, devraient donc permettre d'y développer la pêche. Les mattes souvent nombreuses mais petites et de subsurface ne sont pas un handicap pour une flottille de canneurs. Pour un senneur, la meilleure période se situerait en novembre-décembre pour la pêche du listao et en mai-juin pour celle de l'albacore.

#### c) *Wallis et Futuna.*

Quatre séries de prospection ont eu lieu dans cette région :

- début mars 1979;
- fin juin, début juillet 1979;
- fin septembre, début octobre 1980;
- janvier 1981.

Les eaux baignant les îles de Wallis et Futuna sont certainement poissonneuses, comme en témoignent les observations de thonidés et l'abondance des apparences (oiseaux, cétaqués) sur l'ensemble de la zone. Cependant, les bancs rencontrés sont généralement assez diffus et peu actifs en surface : une technique permettant de concentrer et de fixer le poisson paraît donc nécessaire. Le repérage des aires de pêche est aisé du fait de la grande taille des groupes d'oiseaux.

A notre connaissance, les seules pêches effectuées par un senneur dans ces eaux ont été faites par un bateau américain en mars 1978 et les résultats (trois coups de senne sur épave) ne sont pas probants.

Les basses latitudes sont peu affectées par une variation saisonnière dans l'abondance du poisson. La zone de Wallis et Futuna, limite sud de ces régions privilégiées, semble en fait subir une certaine variation. Indépendamment de l'aspect des bancs rencontrés, les prospections aériennes de janvier à juin se sont révélées plus fructueuses que celles de septembre/octobre. Une campagne exploratoire de pêche menée en mai 1978 par le canneur *Hatsutori-Maru*, affrété par la C.P.S., a permis de localiser de fortes concentrations de thons dans le sud de Wallis, secteur où, généralement, les observations aériennes ont été plutôt pauvres.

On peut penser que le premier semestre (janvier/février à juin/juillet) constitue la période la plus favorable. Néanmoins, à proximité des îles et des hauts-fonds, le poisson est très probablement présent toute l'année.

#### d) *Etudes en cours.*

Les conditions optimales de vol ont pu être extraites de l'ensemble des données et intéressent la programmation des vols futurs. Par exemple, un vol par mer agitée et un vent supérieur à 18 nœuds est environ cinq fois moins efficace que par mer et vent calmes, ou encore les observations faites en fin de journée sont plus nombreuses — particulièrement en Polynésie — que vers midi.

Le comportement des bancs fait également l'objet d'une étude en cours. Ainsi, en Nouvelle-Calédonie, lors de la

première année de prospection : 7 % des bancs de thons étaient à proximité de cétaqués, 83 % survolés par des oiseaux, 3 % à proximité d'épaves, 7 % présents sans apparences. D'autre part, 28 % des groupes d'oiseaux observés survolaient un banc de thons en surface.

## Conclusions et perspectives

L'utilisation des moyens aériens se justifie depuis la prospection jusqu'à l'exploitation de la pêcherie. Au cours de la phase exploratoire, l'avion est la seule plate-forme permettant de faire rapidement des observations suffisamment précises sur une grande surface. A ce titre, elles intéressent déjà les océanographes, physiciens et biologistes. Cet intérêt ira grandissant avec le développement des techniques de télédétection aéroportées, et l'on peut souhaiter que l'ensemble des heures de vol réalisées dans le Pacifique Sud pourra contribuer à la conception d'un véritable avion océanographique. C'est la répétitivité des vols qui permet d'atteindre le premier objectif recherché : délimiter les aires à forte concentration de thons et définir la saison de plus grande abondance. Sur la base de ces données, une tentative d'exploitation par quelques navires peut être lancée, l'avion repérant les bancs et communiquant ses informations aux bateaux.

Si l'opération est concluante, les hypothèses effectivement vérifiées, l'exploitation commerciale peut alors débiter.

Les perspectives d'avenir qui se présentent passent par l'utilisation des satellites. Ceux-ci apportent un concours appréciable aux scientifiques par la vision synoptique des océans qu'ils fournissent régulièrement. Les informations météorologiques sont déjà très élaborées, mais les données thermiques verront leur résolution augmentée avec les satellites de la nouvelle génération. En Nouvelle-Calédonie, dans le cadre de l'opération de « radiométrie aérienne et prospection thonière », des recherches pour l'acquisition, l'utilisation des « données satellites » en temps réel sont en cours. Les recherches des bancs de thons par avion devraient être de plus en plus localisées vers des aires très précises définies par satellite, réduisant d'autant les coûts des moyens aériens. Bien évidemment, rien ne remplacera l'œil du pêcheur, mais dans l'extension future des domaines de pêche, il faudra tenir compte de tous ces moyens de recherche.

## Bibliographie

- BOUR W., 1980. — Evolution récente des captures et des coûts de la pêche aux bonites dans le Pacifique Sud-Ouest. *La Pêche maritime*, mai 1980.
- BOUR W. et JOSSE E., 1980. — Développement des pêcheries thonières dans le Pacifique Sud. *La Pêche maritime*, septembre 1978.
- CHABANNE J. et MARCILLE J., 1980. — La pêche thonière en Polynésie française en 1979. Doc. centre ORSTOM, Papeete, 56 p.
- LEGUEN J.-C., DONGUY J.-R. et HÉNIN C., 1977. — Perspectives thonières dans le Pacifique Sud. *La Pêche maritime*, janvier 1977.
- MARCILLE J., ASINE A. et MAREC L., 1979. — La pêche bonitière à Tahiti. *La Pêche maritime*, juillet 1979.
- MARCILLE J. et BOUR W., 1981. — La pêche des thons à la senne et à la canne dans l'océan Pacifique tropical. Trav. et Doc. ORSTOM, 134, 259 p.



## NOTE TECHNIQUE

# NOUVEAU GRÉEMENT DE FILET A PLANCTON POUR LA CAPTURE DE LARVES DE THONS

CHRISTIAN HOFFSCHIR\* et FRANÇOIS CONAND\*\*

\* Technicien O.R.S.T.O.M.

\*\* Océanographe biologiste O.R.S.T.O.M.

O.R.S.T.O.M., BP. 15 Nouméa, Cedex, Nouvelle-Calédonie

### RÉSUMÉ

*Un nouveau gréement de filet à plancton est présenté, où un cadre triangulaire évite la présence d'une patte d'oie. Le maniement est aisé. Le flux d'eau et les captures de grandes larves de poissons sont significativement supérieurs à ceux obtenus avec un filet identique gréé avec une patte d'oie.*

### ABSTRACT

#### NEW METHOD OF RIGING A PLANKTON NET FOR THE CAPTURE OF TUNA LARVAE

*At the FAO expert panel for the facilitation of tuna research, held in Tokyo in 1967, the working party on methods of collecting larvae recommended the use of cylindrical conical nets, 1 m diameter opening and 505 microns mesh aperture. They suggest development of a gear without a bridle in front of the mouth. Since then, the Bongo net has been designed and is successfully and widely used. However a regular Bongo is not large enough for filtering the amount of water necessary to collect tuna larvae in significant numbers.*

*A triangular frame supporting the net has been built and is easy to handle. The flow of water and the catch of large fish larvae and juveniles were significantly higher than with the same net attached with a bridle.*

### OBJECTIFS

Dans le rapport du groupe de travail sur les méthodes de récolte des formes larvaires de thons réuni à Tokyo (FAO, 1967) il est clairement précisé dans les recommandations que les filets cylindro-coniques de 1 mètre de diamètre à l'ouverture, et 505 microns de vide de maille représentent l'optimum pour les recherches dans ce domaine.

La forme cylindroconique a été choisie en fonction de son meilleur hydrodynamisme, et du moindre refoulement à l'ouverture. Le diamètre (1 mètre), représente un compromis : «le filet doit être assez petit pour pouvoir servir à bord des bâtiments de

recherche de toutes tailles, mais d'une dimension suffisante pour permettre de bonnes prises des larves de thons». En effet, en milieu océanique, les organismes sont très dispersés et il est nécessaire de filtrer des volumes importants. La maille de 505 microns correspond à peu près au seuil de capturabilité des plus petites larves de thons.

Le groupe de travail enfin, recommandait la mise au point d'un filet dont les bras ne se trouvent pas directement devant l'ouverture. En effet le gréement traditionnel avec une patte d'oie, provoque des turbulences qui modifient le flux d'eau et favorisent l'évitement des organismes les plus rapides.

Postérieurement à la réunion de ce groupe d'ex-

perts, le filet Bongo a été mis au point et s'est imposé par la qualité de ses performances tendant à devenir l'instrument standard, de l'ichtyoplanctologiste. Le Bongo classique avec une paire de filets de 60 cm de diamètre est parfait pour des études dans des zones néritiques ou pour des organismes à concentration assez forte. En milieu océanique où la densité des individus est faible, il serait nécessaire de construire un Bongo à cercles de 1 mètre de diamètre. Un tel engin serait encombrant, difficile à manier et nécessiterait un lest très lourd.

Nous avons donc, dans le sens de la recommandation du groupe de travail de Tokyo mis au point un gréement évitant aux bras de traction de perturber le flux d'eau en avant du filet.

## DESCRIPTION

La figure 1 présente le cadre de gréement. Le filet est fixé sur un cercle pouvant pivoter sur un diamètre, dans le cadre triangulaire. Deux dépresseurs d'un poids de 20 à 25 kg sont placés à 10 ou 20 cm sous la base. Ce cadre est construit avec du tuyau galvanisé de 1 pouce de diamètre; les points de fixation du cercle sont renforcés. La patte d'oie est remplacée par un bras court de 55 cm attaché au sommet, et deux bras longs fixés à quelques centimètres au-dessous de l'axe de rotation du cercle. Ceux-ci sont faits avec du câble inox de diamètre 6 mm. On a nommé ce gréement : « Filet Delta ».

## MANIABILITÉ

Légèrement moins maniable qu'un cercle avec une simple patte d'oie, la manipulation est cependant aisée. Elle est comparable à celle d'un Bongo de 60 cm, ou peut-être même plus facile. Deux lests de 20 à 25 kg conviennent à une vitesse de 3 à 3,5 nœuds. L'observation en plongée a montré une bonne stabilité verticale et latérale de l'engin.

## PERFORMANCES

Des tests ont été faits afin de comparer les performances du gréement Delta et de la patte d'oie traditionnelle, placés sur deux filets cylindroconiques identiques. Tracter simultanément les deux engins s'étant avéré trop délicat, on a procédé à des pêches consécutives. Ces traits obliques entre la surface et 60 mètres ont été faits à même vitesse (3,2 à 3,3 nœuds) et leur durée était à peu près constante (10 à 12 minutes). Six séries de 5 paires de traits ont été réalisées, entre la Nouvelle Calédonie et les îles Loyauté.

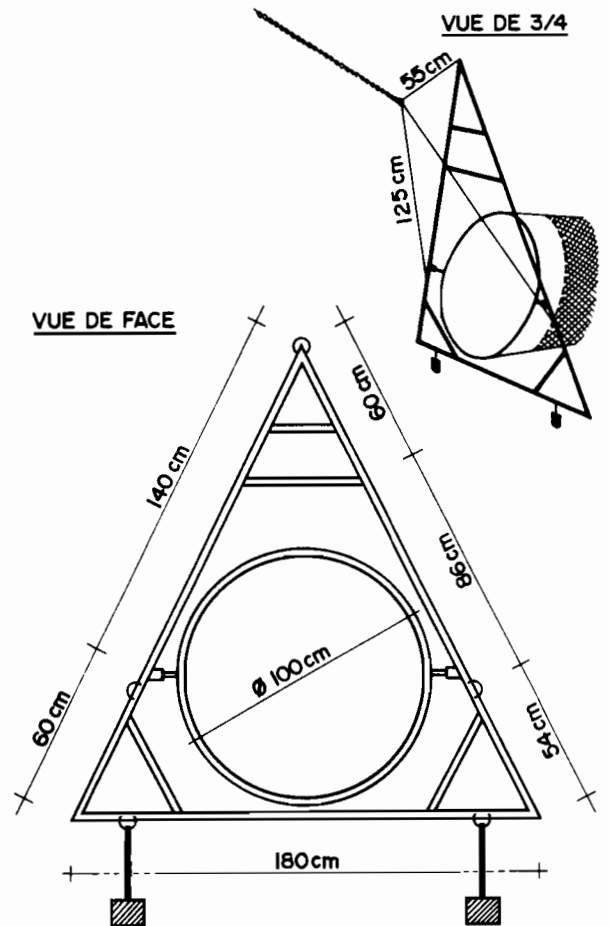


Fig. 1. — Filet « Delta ». Cadre de gréement du filet à plancton. "Delta" Net. Rigging frame of the plankton net.

Les filets étaient munis de débitmètres et l'on a pu comparer les vitesses des flux aux ouvertures et effectuer la moyenne sur une vingtaine de traits de chaque engin. On a calculé :

Patte d'oie	Cadre Delta
V. moy = 1,56 m/sec	V. moy = 1,66 m/sec
Var. = 0,0031	Var. = 0,0082
cc. type = 0,06	cc. type = 0,09

On observe donc que le flux est légèrement plus faible à l'entrée du filet gréé avec une patte d'oie.

Cherchant ensuite à voir l'influence des gréements sur les captures, on a comparé les prises des 2 engins. Les organismes les plus rapides fuient à l'approche du signal visuel ou des turbulences créées par la patte d'oie. Ce phénomène appelé évitement affecte plus spécialement les individus les plus grands qui sont en général les plus rapides. La méthode la plus rigoureuse eût été de comparer les prises de chaque pêche, et d'analyser le nombre et la taille

TABLEAU I

Longueur moyenne (en mm) des 10 poissons les plus grands de chaque pêche, et test t. O : gréement à patte d'oie ;  $\Delta$  : gréement avec cadre Delta

Série 1 : 17-4-78 de 20 h 35 à 22 h 30		Série 2 : 18-4-78 de 6 h 30 à 9 h 15		Série 3 : 18-4-78 de 19 h 40 à 22 h 10	
O	$\Delta$	O	$\Delta$	O	$\Delta$
12,8	21,7	9,6	11,8	7,3	11,1
12,8	34,8	9,5	13,7	11,1	16,0
12,3	36,6	6,7	8,4	11,2	12,0
13,2	14,9	9,5	11,0	9,9	10,4
16,1	21,9	8,7	14,9	12,4	16,3
t = 2,79		t = 3,59		t = 3,12	
Série 4 : 19-4-78 de 19 h 30 à 21 h 45		Série 5 : 20-4-78 de 6 h 35 à 9 h 15		Série 6 : 25-4-78 de 14 h à 17 h	
O	$\Delta$	O	$\Delta$	O	$\Delta$
14,6	16,4	7,4	9,9	10,4	14,1
14,6	17,9	10,1	8,5	14,8	18,4
15,5	20,6	8,1	9,9	13,3	12,8
13,9	20,1	8,3	8,3	12,8	13,9
14,6	14,9	7,2	13,9	10,3	14,4
t = 3,12		t = 1,34		t = 2,67	

Test pour les 6 séries t = 4,22

de tous les individus séparés par espèces. Même en se limitant aux seules larves de poissons, un tel travail eût été très long. On a donc opté pour une méthode plus rapide, en prélevant dans chaque pêche les 10 larves ou juvéniles de poissons de plus grande taille (des larves leptocéphales, très longues mais peu rapides n'ont pas été retenues). Après mensuration on a totalisé ces dix valeurs et comparé par un test t les paires d'expérimentation. Le tableau I présente les résultats. L'analyse de chacune des 6 séries prise séparément, donne des valeurs de t comprises entre 1,34 et 3,52, ce qui, pour 4 degrés de liberté, indique une probabilité comprise entre 0,70 et 0,98. En regroupant les 6 séries on a  $t = 4,22$  soit pour 29 d.d.l. une probabilité supérieure à 0,99 pour que les performances du filet Delta soit supérieures.

## CONCLUSIONS

Il était nécessaire pour la collecte du plancton destiné à l'étude des larves de thons de disposer d'un filet capable de filtrer d'assez grands volumes d'eau, n'ayant pas d'obstacles (câble tracteur, patte d'oie, lest) devant la bouche du filet et pouvant être aisément maniable sur n'importe quel type de bateau. Un cadre triangulaire permettant de tirer un filet de 1 mètre de diamètre sans créer de perturbations en avant de l'ouverture du filet a été mis au point au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa et est utilisé avec succès.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.  
le 13 février 1979.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Fao, 1967. - Groupe d'experts FAO chargé de faciliter la recherche sur le thon. Tokyo, 15-21 août 1966. Rapport

du groupe de travail sur les méthodes de recolle des formes larvaires. *FAO Rapports sur les pêches n° 37*.

*Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. XVI, n°s 3-4, 1978 : 377-379.*



## THE ABUNDANCE OF LARVAE OF THE GILT SARDINE OF THE NORTHWEST AFRICAN STOCK IN RELATION TO THE FISHERY

FRANÇOIS CONAND

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer,  
Centre de Nouméa,  
Nouvelle-Calédonie

Since 1968 studies on *Sardinella aurita* larvae have been carried out in Senegal and are continuing. The adult stock which was estimated by acoustic methods in 1974 at 700 000 metric tons migrates seasonally between 22°N and 11°N along the Northwest African coast (Boely, 1979). Off Senegal several spawning periods of unequal importance are observed, concerning various parts of the stock of different ages. A major spawning occurs at the beginning of the warm season in June deriving from migrating fish 2 years old and more, and young, still sedentary fish 12 to 18 months old. A secondary spawning of young fish only, occurs at the end of the warm season. Several minor ones occur during the cold season when the migratory group comes back to the south. The relative importance of these spawnings was estimated for 1970-71: the secondary spawning was equal to 1/10 of the major spawning, and these occurring during the cold season to 1/20.

In the area of the Petite Côte, south of Dakar, the abundance of larvae of 6-11 mm from the major spawning was estimated for the years 1971-76 (Conand, 1977). This value can be considered to be an index of the spawning potential of the stock and was compared with the yield of the fishery. The information on the catch was available only for a small part of the exploited stock so a cohort analysis was not possible, therefore we compared larval abundance with the catch per unit effort (CPUE) of the Dakar sardine fishery for the 6 months preceding the major spawning. No obvious relation was evident: only that larval recruitment was higher in 1975 and 1976 while the CPUE was low these two years. One might suppose that we have a larval mortality dependent on the density of adults, eggs and larvae being particularly

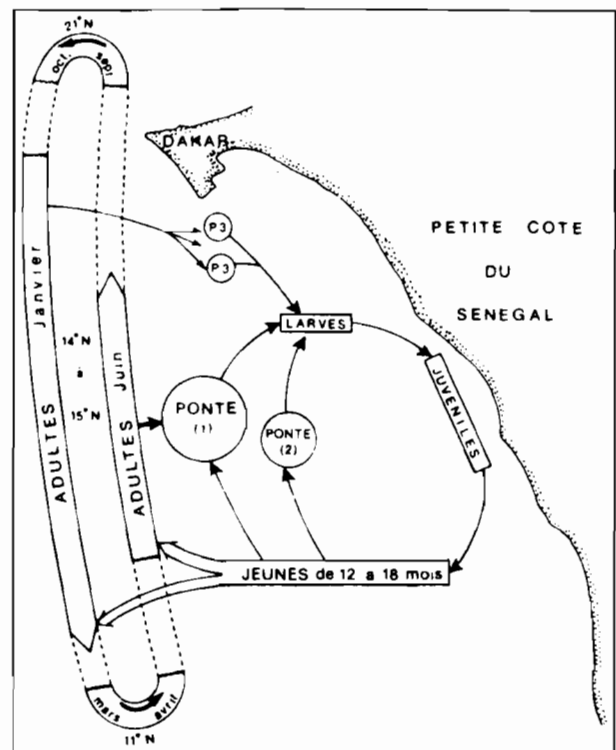


Figure 1. Spawning of *S. aurita* off the Senegalese Petite Côte.  
Ponte (1): major spawning at the beginning of the warm season  
Ponte (2): secondary spawning at the end of the warm season  
Ponte (3): sporadic spawnings of the cold season.

affected by cannibalism. However, we do not conclude this because the Dakar sardine fishery exploits a limited area and it is impossible to determine if the variations of the CPUE are the result of a real change



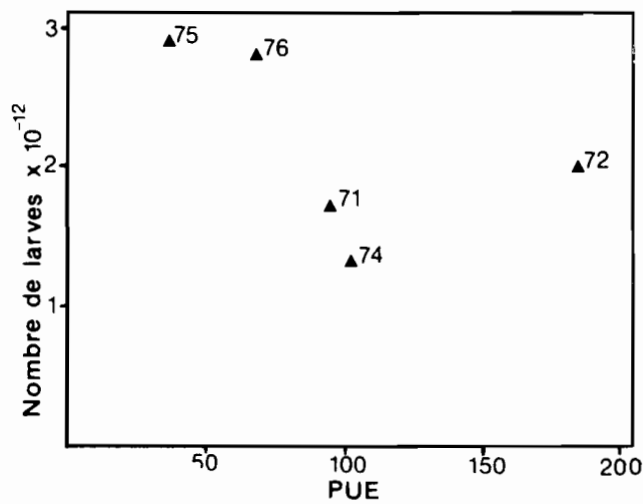


Figure 2. Larval abundance in relation to the catch per unit effort C.P.U.E. in 100 kg per 10 h) of the Dakar sardine fishery during the 6 months preceding the major spawning (December–May).

in abundance of the stock, or only of its availability due for example to special hydrological conditions.

In the case of this gilt sardine stock where fishery statistics are very incomplete, the quantitative study of fish larvae is a very good method for measuring changes in the spawning potential of the stock. The recruitment in the Petite Côte area could also be estimated by the spawning intensity at the end of the warm season which is produced only by the young fish from the previous year.

#### REFERENCES

- Boely, T. 1979. Biologie des deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* Val. 1847 et *Sardinella maderensis* Lowe 1841) des côtes sénégalaises. Thèse de Doctorat d'Etat. Paris VI. Paris 219 pp.
- Conand, F. 1977. Oeufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) au Sénégal: distribution, croissance, mortalité, variations d'abondance de 1971 à 1976. Cah. ORSTOM (Océanogr.) 15(3): 201–214.



## Recession of Chlorophyll Poor Surface Waters During Winter in the Southwestern Pacific

Filtrations of 20 cm<sup>3</sup> of surface sea-water are made routinely by the crews of ships-of-opportunity who cooperate in the French-US XBT experiment. The ships regularly call at Nouméa (New Caledonia) where the filters are processed in the Centre ORSTOM de Nouméa and chlorophyll concentrations are estimated.

The first data were presented by Dandonneau (1979). These data spread from Australia to Panama or California and from New Caledonia to New Zealand, Japan or Hong-Kong; this network is particularly dense around New Caledonia where 2,825 chlorophyll measurements from 15°S and 35°S, and 150°E and 180° have been processed between January 1978 and April 1981. The chlorophyll concentrations have been sorted by month, year and latitude. Figure 1 shows the variations of the chlorophyll concentrations at the sea surface. Every year a period with higher concentrations appears with a maximum extending northward to about 21°S in July or August. North of 21°S, this winter enrichment of the surface waters does not exist.

The winter bloom was especially well developed in 1979, which was a cold year compared to 1978 and 1980. Mean temperatures of the sea surface at Nouméa in July-September were 21.30°C in 1978, 20.63°C in 1979, and 20.77°C in 1980. Satellite charts of the sea surface temperature showed cooling of the surface layer south of a line between New

Caledonia and Fiji during the austral winter, and which presumably indicated mixing with the deeper, nutrient-rich layers. Vertical profiles of chlorophyll have been taken from research vessels at 103 sites south of New Caledonia between 22°S and 30°S in early winter since 1978. A chlorophyll maximum was observed at the surface or close to the surface at 40 locations. Our winter data south of 21°S did not show the typical tropical structure (Herbland and Voituriez, 1979) having a homogeneous surface layer depleted in nutrients. Venrick *et al.* (1973) have shown that the subsurface chlorophyll maximum is a widespread feature in the tropical Pacific. Our data indicated that it did not extend farther than 21°S in the western tropical Pacific during the austral winter. Farther south in midlatitudes the win-

ter cooling of the sea surface results in vertical mixing and the subsurface chlorophyll maximum is replaced by a surface maximum which develops in the surface mixed layer.

Thirteen ships cooperate with the Centre ORSTOM de Nouméa, and since 1978 more than 10,000 chlorophyll measurements have been processed. These preliminary results are encouraging, and the program to monitor the sea surface chlorophyll concentrations in the Pacific is continuing.

### References

- Dandonneau, Y. (1979) Time and space variations of surface chlorophyll in the Pacific Ocean: first results. *Proceeding 4th CSK Symposium Tokyo*, 678-696.
- Herbland, A. and B. Voituriez (1979) Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the tropical Atlantic Ocean. *Journal of Marine Research*, 37, 87-101.
- Venrick, E. L., J. A. McGowan and A. W. Mantyla (1973) Deep maxima of photosynthetic chlorophyll in the Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 71, 41-52.

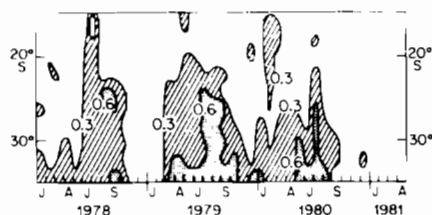


FIGURE 1 (Dandonneau)

Space and time variations of the chlorophyll concentration at the sea surface, between 15°S and 35°S and 150°E and 180°.

Yves Dandonneau  
Centre ORSTOM de Nouméa  
B.P. A5  
Nouméa Cedex  
New Caledonia



# Use of Merchant Ships for Collecting Zooplankton

The routes of merchant ships offer a network of observations for physical oceanographers for studying surface hydrographical conditions (and even sub-surface conditions with the use of XBTs) over large oceanic areas. Such an operation was initiated by J. R. Duguay and undertaken by the Centre ORSTOM de Nouméa in 1969 in the tropical zone of the Pacific Ocean.

Biological parameters are much harder to study because they are less accessible. A quick method of sampling and measuring surface chlorophyll has been described by Dandonneau (1980). Until now only Continuous Plankton Recorder surveys in the northern Atlantic Ocean have allowed study of a surface planktonic ecosystem over a long period of time. Since 1977 we have been using merchant ships to obtain frequent samples of zooplanktonic populations between Panama and Nouméa and in the region between Kiribati, New Caledonia and Fiji (Figure 1).

Two sampling techniques are used. With a ship speed of less than about 10 knots a small plankton indicator is used in the southwestern Pacific. Aboard faster ships the plankton is measured by filtering the water filling the ship's swimming pool of about 30 m<sup>2</sup>. To limit the consequences of the vertical migration plankton is collected daily, if possible, 8 p.m.-midnight. In both sampling techniques the plankton is collected on a canvas filter disk with a mesh aperture width of 340 μm, then

stored in sea water with formalin. The samples are analyzed for copepods which can withstand the severe conditions of collection. A preliminary analysis of the data obtained between August 1979 and October 1980 are summarized here.

An inventory of the oceanic surface species of copepods has enabled us to determine their relative importance in the surface communities. Information on the biogeography of the species, which is inadequate in this area, was also obtained. Study of the distribution of copepod abundance shows large values in lower latitudes; the position of the maximum for each species shows ecological differences due to trophic enrichment.

Multivariate analysis identified four main groups of samples corresponding to well defined geographical areas. Several ways of studying seasonal variations are possible: observed changes in a species' average monthly abundance for a given geographical area, and these variations may also be considered in relation to space. Figure 2 shows, for instance, the abundance of copepods measured along the New Caledonia-Panama route. Seasonal effects of equatorial upwelling in the eastern part of the region and the latitudinal position of the maximum abundance are clear. Maximal abundance of *Oncaea venusta* was to the north of the equator, and of *Undinula darwinii*, south of the equator.

The following information can be ob-

tained from a long-term study of pelagic ecosystems: biogeography of the species, analysis of the seasonal and regional evolution of planktonic biomass, and analysis of year-to-year variability and long-term trends of the ecosystem. We have used a surface sampling system to obtain zooplankton samples with merchant ships. The present results are encouraging enough to continue the experiment.

## References

Dandonneau, Y. (1980) Time and space variations of surface chlorophyll in the Pacific Ocean: First results. *Proceedings of the fourth symposium for the cooperative study of the Kuroshio and adjacent regions*. The Japan Academy, Tokyo, Japan, 678-696.

Alain Dessier  
Centre Office de la Recherche Scientifique et  
Technique Outre-mer de Nouméa  
B. P. A5  
Nouméa, New Caledonia

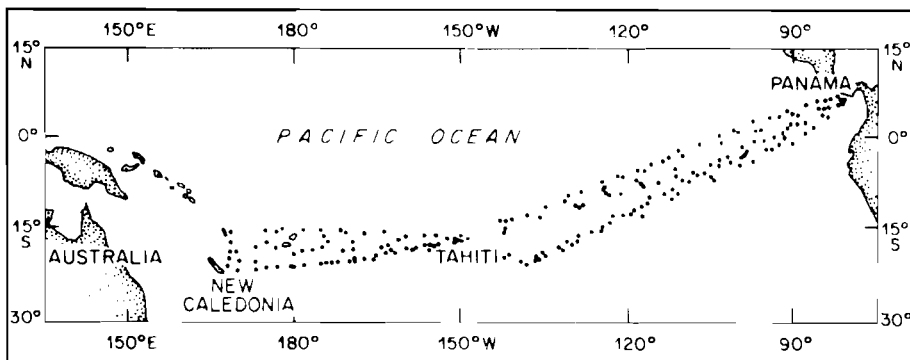


FIGURE 1 (Dessier)

"Swimming pool samples" collected between August 1979 and October 1980.

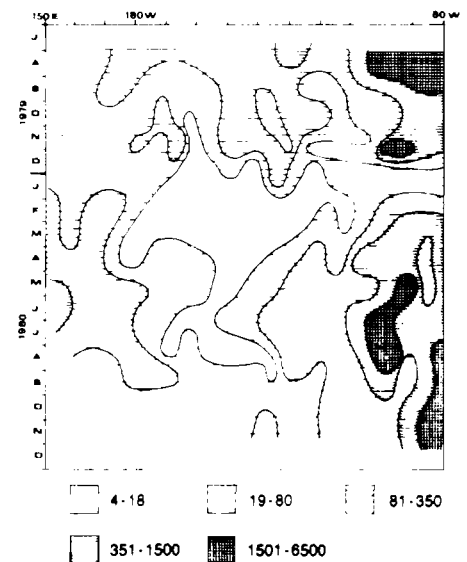


FIGURE 2 (Dessier)

Total number of copepods per sample (route: Australia, New Caledonia, Panama).



# Evaporation and Salinity Survey in French Polynesia

In 1979 the quantity of surface temperature and salinity data measured throughout French Polynesia by military and merchant ships was large enough to describe the development of the thermohaline structure of the surface layer. Data from the ships-of-opportunity organized by ORSTOM (Donguy *et al.*, 1978) supplemented daily measurements from five coastal stations in Tahiti and the eastern portion of the Tuamotu Archipelago (Figure 1). In addition, data were recorded at 15 stations of the French Meteorological and Civil Aviation Bureau located on atolls or coastal strips of high islands.

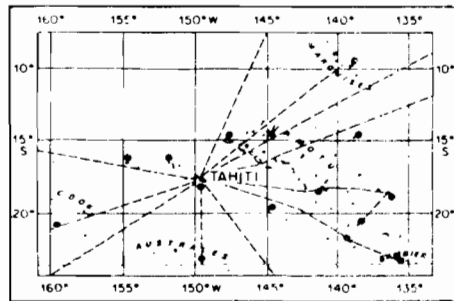


FIGURE 1 (Rougerie)

Locations of ships-of-opportunity tracks and coastal stations.

Daily values of evaporation-precipitation (E-P) were computed for the marine zone of French Polynesia during 1979 (Figure 2). The evaporation, E, represents the potential evapotranspiration calculated according to Penman's (1948) method from atmospheric temperature and humidity, wind speed, insolation and albedo. E and P are expressed in mm of water. In Figure 2 the zero-isoline of E-P, which represents the region where evaporation equals the amount of rainfall, separated two distinct zones: a zone in the eastern Tuamotu where the excess evaporation (*i.e.*, E-P is positive) reached 500 mm per year, in agreement with Dietrich's (1957) result; and a zone encompassing the Society and Austral Island Groups where excess precipitation (*i.e.*, E-P is negative) was 400-800 mm per year.

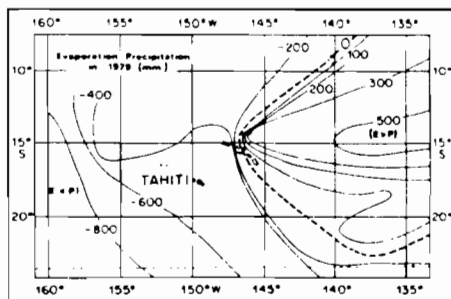


FIGURE 2 (Rougerie)

Evaporation-precipitation (mm per year) in 1979.

Surface salinity is influenced by a number of processes, such as horizontal advection, upwelling and the difference between evaporation and precipitation. The surface salinity distribution of the marine zone of French Polyne-

sia in 1979 (Figure 3) corresponded very well to the E-P distribution, suggesting that the salt distribution was produced by E-P. In the eastern Tuamotu, water with surface salinities higher than 36.5‰ was typical of south-tropical water formed by excessive evaporation. West of Tahiti, salinities were less than

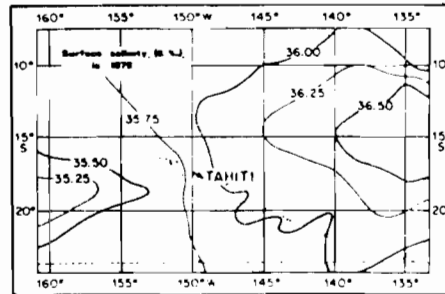


FIGURE 3 (Rougerie)

Sea surface salinity (‰) in 1979.

35.5‰ and E-P was negative. Though E-P and surface salinity distributions were well correlated, Rougerie *et al.* (1980) showed that zonal advection produced an east-west oscillation of the water mass. During the third-quarter (austral winter) of 1979 precipitation was low and the rotation of the tradewinds to the northeast moved south subtropical water toward the southwest, resulting in high salinity water over the eastern Tuamotu region. During the first quarter, which is the rainy season in the Society Islands, the tradewinds decreased and low salinity water, which increased in extent toward the west, was carried eastward toward Tahiti by the South Equato-

rial Countercurrent. This countercurrent originates in the Solomon Sea and flows east-southeasterly with speeds inversely proportional to the strength of the southeast tradewinds.

Additional data will permit us to define limits of surface thermohaline fluctuations in the tropical central South Pacific. It is particularly important to know whether the environment found in 1979 was similar to the permanent hydroclimate of French Polynesia.

## References

- Dietrich, G. and Kalle, K. (1957) *Allgemeine Meereskunde: Eine Einführung in die Ozeanographie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Donguy, J. R. and Henin, C. (1978) La salinité de surface dans l'Océan Pacifique tropical sud-ouest. *Cahiers ORSTOM serie Oceanographie*, Vol. XVI, 107-136.
- Penman, H. L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol. 193, 120-145.
- Rougerie, F.; Marec, L. and Gouriou, Y. (1980) Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine de Polynésie Française pendant l'année 1979. Notes et Documents d'Océanographie number 1980-28, Centre ORSTOM, Tahiti.

Francis Rougerie  
Office de la Recherche Scientifique et  
Technique Outre-Mer  
BP 529  
Papeete, Tahiti





# POUR UNE MEILLEURE PRÉVISION DES CONDITIONS CLIMATIQUES

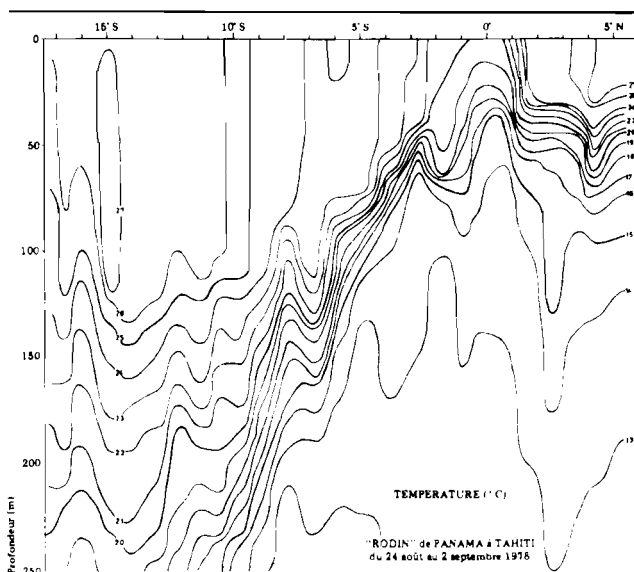
## LA COOPÉRATION DES NAVIRES DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE MARITIME AVEC L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Depuis presque dix ans les navires marchands effectuent en routine des mesures de surface telles que la détermination de la température (figure 1) et de la salinité (Donguy, 1976). De telles mesures conduisent à la détermination des hydroclimats océaniques dont les cycles saisonniers sont encore très mal connus. Elles mettent également en évidence des phénomènes non périodiques mais très intenses dont la manifestation la plus spectaculaire est le contre-courant catastrophique que les Sud-Américains appellent "El Niño". Enfin, en océanographie biologique, il s'ensuit des progrès importants tels que la détermination des zones et des périodes de productivité ou la surveillance de l'environnement des poissons ou de leurs larves.

Dans le Pacifique, grâce à la collaboration bénévole d'une vingtaine de navires de plusieurs nationalités, l'ORSTOM a acquis une bonne connaissance en hydroclimat. Ainsi, par exemple, on sait maintenant que les conséquences du phénomène "El Niño", qui ne semblait intéresser a priori que l'Amérique du Sud, peuvent se faire sentir jusque dans le Pacifique ouest (Donguy et Henin, 1978)

*Met-Mar évoque souvent les relations étroites qui unissent météorologistes, océanographes et navigateurs. Ces relations ne peuvent que déboucher sur des actions concrètes et c'est ainsi que nous avons exposé dans un récent numéro (103) le propos des mesures de température de la mer et de salinité organisées par l'ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique outre-mer) avec l'aide de la Météorologie nationale et faisant appel à certains navires sélectionnés.*

*Nous versons ici une nouvelle pièce au dossier avec la reproduction d'un article paru dans "Le courrier de la CGM" (Compagnie générale maritime), sous la signature de M. J. R. Donguy, chercheur à l'ORSTOM, auteur déjà bien connu de nos lecteurs.*



*Fig.1 - Depuis une dizaine d'années, certains navires marchands effectuent des mesures en profondeur dans l'océan Pacifique. Ici, les relevés du navire "Rodin", de la Compagnie générale maritime financière, ont permis de mettre en évidence les eaux froides équatoriales liées en grande partie au mouvement d'upwelling (remontée d'eau profonde).*

sous la forme de pluies diluviennes anormales sur l'équateur et d'une sécheresse au sud de 10° S. Cependant les problèmes sont encore innombrables: la circulation de surface, par exemple, malgré les "Pilot Charts", est particulièrement mal connue. De plus, on s'est aperçu récemment que l'Océan Pacifique de par ses dimensions, principalement à l'équateur (180 degrés de longitude environ), constituait le réservoir de chaleur de la planète. Son état thermique, c'est-à-dire la quantité de chaleur présente dans ses eaux superficielles, commande le climat des continents et principalement ceux de l'hémisphère nord. Aussi, actuellement, les recherches s'orientent vers la connaissance continue de la quantité de chaleur présente dans l'océan, principalement dans l'Océan Pacifique, et aussi vers la surveillance du système de courants qui est susceptible de la disperser dans l'océan et de lui faire atteindre des latitudes plus froides.

Un même appareil peut fournir les nombreuses mesures nécessaires à ces deux informations: c'est le bathythermographe à tête perdue appelé aux Etats-Unis XBT et connu par les navigants sous le nom de son principal fabricant "Sippican".

La conception de cet appareil remonte à une quinzaine d'années. L'enregistrement a lieu à bord; une sonde équipée d'une thermistance est larguée par-dessus bord et coule librement (figure 2); elle est reliée à bord par un fil très fin qui se déroule sans contrainte et qui transmet l'information. Dans le dispositif utilisé pour l'opération relatée ici, la température des couches d'eau apparaît sur l'écran d'un micro-ordinateur (figure 3) qui remplace l'habituel enregistreur sur papier; puis les données sont stockées sur cassette, ce qui évite leur digitalisation. Le message BATHY, calculé automatiquement, apparaît sur l'écran quelques minutes après le lancer.

On obtient finalement, sans avoir réduit la vitesse du navire, un enregistrement de la température de la mer entre la surface et environ 400 m (figure 4), profondeur de rupture du fil qui relie l'enregistreur à la sonde qui, perdue, coule vers les profondeurs. L'enregistrement montre, en zone tropicale, l'existence d'une couche homogène isotherme de quelques dizaines de mètres appelée parfois couche de couverture, puis d'une variation plus ou moins rapide de la température avec la profondeur, appelée thermocline. La couche homogène isotherme est, en général, composée d'une même masse d'eau dont le mouvement est indépendant de celui de la masse située au-dessous de la thermocline. La vitesse et la direction du courant de la couche de couverture dépendent de la topographie de la thermocline: comme en météorologie le vent suit les isobares, en océanographie le courant suit les lignes d'égale densité et comme c'est la température qui intervient le plus dans cette variable, le courant suit les isobathes de la thermocline. Un ré-

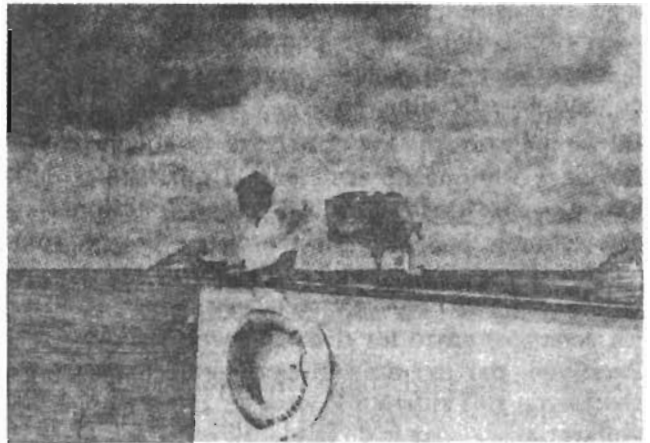


Fig. 2 - Lancement d'une sonde bathythermique sur l'aile-ron de passerelle à bord du "Rodin" (photo CGM).

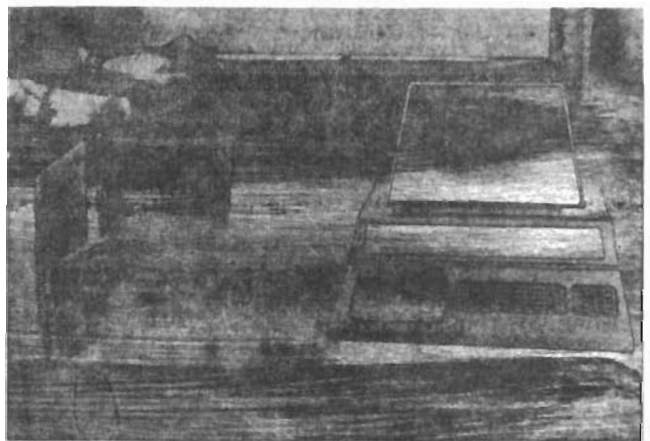


Fig. 3 - Ce micro-ordinateur remplace le classique enregistreur à papier fonctionnant normalement avec le dispositif de mesure bathythermique Sippican; les données sont ainsi chiffrées automatiquement et stockées sur cassettes; à gauche, la sonde dans son étui (photo ORSTOM).

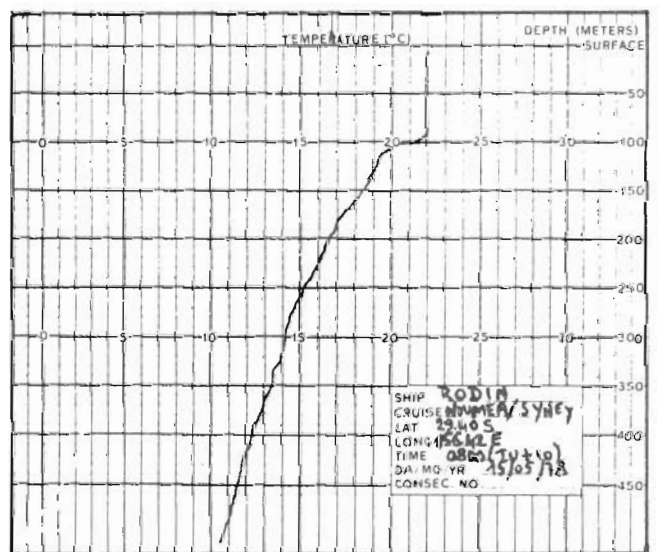


Fig. 4 - Enregistrement d'un sondage bathythermique à bord du "Rodin". La couche isotherme à 22° C entre la surface et 90m de profondeur environ est parfaitement visible.

seau suffisamment dense de navires observateurs permettrait d'obtenir en continu la topographie de la thermocline et donc le courant qui entraîne la couche superficielle..

La température et l'épaisseur de la couche superficielle isotherme déterminent la quantité de chaleur présente dans l'océan. L'océan fonctionne en effet comme une machine thermique dont la source chaude est située près de l'équateur et la source froide près des pôles. Ce sont les courants qui font les échanges entre les deux sources. Dans l'Océan Pacifique, par exemple, il semblerait que la source chaude soit située à l'ouest de 180° dans la zone équatoriale. A partir de là, dans l'hémisphère nord, la chaleur est entraînée d'une part vers le nord par le Kouro Shivo et d'autre part vers l'est par le Contre-Courant Equatorial nord situé vers 7° N. Dans l'hémisphère sud, elle est entraînée d'une part vers le sud par le Courant Est Australien, d'autre part vers l'est par le Contre-Courant Equatorial Sud vers 10° S.

Si la veille continue de la quantité de chaleur dans l'océan a une importance primordiale pour la prévision à moyen terme des climats, elle entraînera aussi de grands progrès dans la connaissance de la formation des cyclones. Il semble en effet que la puissance d'un cyclone dépende de la quantité de chaleur disponible lors de sa formation. Si l'on connaît cette quantité de chaleur, il sera possible de prévoir la formation des cyclones et l'amplitude de leurs effets dévastateurs.

Ainsi dans le Pacifique ouest, il est probable que les années sans cyclones importants soient dues à une distribution inhabituelle de la quantité de chaleur.

C'est en 1979 que dans le cadre d'une opération financée par l'ORSTOM, le CNEXO et la Scripps institution of oceanography (Etats-Unis), une douzaine de navires navigant dans la zone transéquatoriale du Pacifique, furent équipés de bathythermographes à têtes perdues. Les unités françaises encore actuellement équipées ou qui le furent, sont les navires "Rodin", "Rousseau", "Rostand", "Cezanne", de la Compagnie générale maritime et financière, "Nickel-1", de la Société métallurgique Le Nickel.

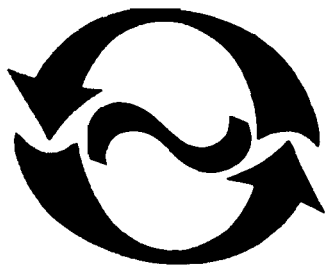
L'opération, limitée à une bande géographique 20° N - 20° S, se poursuit depuis lors sans incidents et sans interruption.

La veille continue de la quantité de chaleur dans la zone tropicale du Pacifique étant ainsi assurée, il est à peu près certain que l'exploitation de ces données fera progresser considérablement l'étude des relations océan-atmosphère.

J. R. Donguy

*Office de la Recherche scientifique  
et technique outre-mer*





# Tropical ocean-atmosphere Newsletter

Number 10

March 1982

## Appearances in the Western Pacific of Phenomena Induced by El Niño in 1979-80

The phenomena induced in the western Pacific by El Niño were observed in 1972-73 and in 1976-77 and were described by Masuzawa and Nagasaka (1975), Donguy and Henin (1976, 1981), Wyrki (1977), and Meyers and White (1979). While in 1979-80 there was no appearance of El Niño in the eastern Pacific, numerous phenomena usually induced by this event were observed in the western Pacific.

The zonal wind from the ship-of-opportunity observations has been plotted at  $0^{\circ}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$  from 1975 to 1981 (Figure 1A). After strong easterly winds in 1975 (prior to El Niño conditions), westerlies or weak easterly winds prevailed from fall 1976 to fall 1978. From fall 1978 to fall 1979, easterlies blew again, as in 1975, and starting in fall 1979, westerlies prevailed as in 1976.

Rainfall and wind influence surface salinity. In the western Pacific, low salinity on the

equator follows the occurrence of El Niño in the eastern Pacific (Donguy and Henin, 1978). In 1975, at  $0^{\circ}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$ , salinity anomalies (Figure 1B) were positive because of the occurrence of the equatorial upwelling and weak rainfall due to the easterly wind. Conversely, in 1977-78, anomalies were negative, as a consequence of the 1976 El Niño. Again in 1978-79, weak positive anomalies were observed and in 1979-80 negative anomalies occurred, as in 1977-78.

Rainfall measurements at Tarawa ( $1^{\circ}21'\text{N}$ ,  $172^{\circ}55'\text{E}$ ) (Figure 1C) corroborate these previous phenomena. Low rainfall occurred in 1975-76, but heavy rainfall in 1976-77. Rainfall minimum occurred again in 1978, but a maximum in 1979-80.

The baroclinic structure of the western Pacific has been monitored by island sea level measurements for many years (Wyrki, 1980) and by routine transequatorial XBT sections since June 1979 (Meyers and Donguy, 1980). Dynamic height of the surface relative to 450 db (Figure 1D) has been calculated from XBT data on the New Caledonia-Japan section using the mean temperature-salinity relationship. The 0/450 db dynamic height at  $7^{\circ}30'\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$  falls during the latter part of 1979 and 1980, followed by a rapid rise in the early part of the following year. The signal is dominated by annual variation. The time-series of XBT observations is too short to make general statements about the mean seasonal variability. However, sea level records are longer, and sea level at Truk Island ( $7^{\circ}28'\text{N}$ ,  $151^{\circ}51'\text{E}$ ) shows the same signal as dynamic height, within the limits of high frequency ambient noise. Because of the high correlation between sea level at Truk and dynamic height, the sea level can be used to compare the oscillation observed in 1979-80 to earlier realizations of the seasonal cycle. Before 1975, a semiannual oscillation with peaks in April and October was a prominent feature of sea level variability. The character of variability changed in conjunction

with the moderate 1976 El Niño; the semiannual oscillation being replaced by a predominantly annual oscillation, noticeable in 1976-77 and again in 1979-80. This annual signal is an indication of the western Pacific response to atmospheric conditions associated with an event similar to El Niño.

The atmospheric pressure difference anomaly between Easter Island and Darwin is a good indicator for the Southern Oscillation

### CONTENTS

DONGUY, HENIN, MORLIERE, REBERT AND MEYERS—Appearances in the western Pacific of phenomena induced by El Niño in 1979-80

CANE—Summary of El Niño discussion at the Equatorial Theory Panel Meeting

DORMAN—Indian Ocean rainfall

GONELLA, FIEUX AND PHILANDER—Evidence for equatorial Rossby waves in the Indian Ocean

PITON AND FUSEY—Trajectories of two satellite-tracked buoys in the Gulf of Guinea, July 1978-July 1979

HAGEN AND DEMIN—On the North Equatorial Surface Countercurrent in the eastern Atlantic

MEETINGS

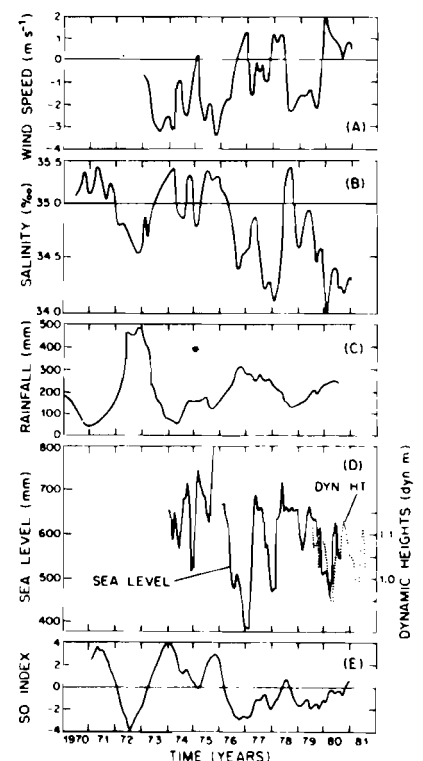


FIGURE 1 (Donguy et al.)  
(A) Zonal wind component at  $0^{\circ}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$ . (B) Surface salinity at  $0^{\circ}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$ . (C) Rainfall data at Tarawa ( $1^{\circ}21'\text{N}$ ,  $172^{\circ}55'\text{E}$ ), smoothed by a 12-month running mean. (D) Sea level at Truk Island ( $7^{\circ}28'\text{N}$ ,  $151^{\circ}51'\text{E}$ ) and dynamic height at  $7^{\circ}30'\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$ . (E) Easter Island-Darwin anomaly of atmospheric pressure, smoothed by a 7-month running mean.

and consequently for the El Niño (Quinn *et al.*, 1978). From 1975 to 1981 (Figure 1E), this index shows two minima, in 1976 and 1979, separated by a maximum in 1978. The 1976 minimum is correlated with the moderate El Niño. The 1979 minimum would be induced by the same kind of event. However, the 1976 minimum has almost the same size as the one in 1972 during a major El Niño, while the 1979 minimum is not as deep. This discrepancy is probably the cause of the small amplitude of a possible 1979 El Niño event in the eastern Pacific, where it was not noticed. However, its effects were obvious in the western Pacific.

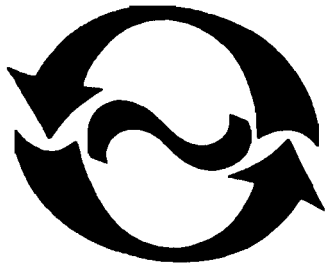
#### References

- Donguy, J. R. and C. Henin (1976) Anomalous navifacial salinities in the tropical Pacific Ocean. *Journal of Marine Research*, 34, 355-364.
- Donguy, J. R. and C. Henin (1978) Surface salinity fluctuations between 1956 and 1973 in the Western South Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 8, 1132-1134.
- Donguy, J. R. and C. Henin (1981) Two types of hydroclimatic conditions in the South Western Pacific. *Oceanologica Acta*, 4, 57-62.
- Masuzawa, J. and K. Nagasaka (1975) The 137°E oceanographic section. *Journal of Marine Research*, 33, Supplement, 109-116.
- Meyers, G. and W. White (1979) El Niño in the West Pacific. *Ocean Modelling*, No. 23.
- Meyers, G. and J. R. Donguy (1980) XBT monitoring by ship-of-opportunity. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, No. 2.
- Quinn, W. H., D. O. Zopf, K. S. Short and R. T. W. Kuo Yang (1978) Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. *Fisheries Research Bulletin*, 76, 663-678.
- Wyrki, K. (1977) Sea level during the 1972 El Niño. *Journal of Physical Oceanography*, 7, 779-787.
- Wyrki, K. (1980) The Pacific NORPAX sea level network. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, No. 1.

Jean Rene Donguy  
 Christian Henin  
 Alain Morliere  
 Jean Paul Rebert  
 Centre ORSTOM  
 B. P. A5  
 Nouméa  
 New Caledonia

Gary Meyers  
 Scripps Institution of Oceanography  
 La Jolla, CA 92093





# Tropical ocean-atmosphere Newsletter

Number 11

May 1982

## Relationship Between Climate and Fishery in the Gulf of Guinea

*Sardinella aurita* is one of the most fished species on the continental shelf off Ivory Coast and Ghana (Figure 1). The landings fluctuate strongly, as shown by the catch statistics available from Ivory Coast and Ghana (Figure 2). Until 1972, the annual catch varied from 8,000 to 40,000 T. In 1972 an exceptional landing reached 94,000 T, but the following years the fishery seemed to have definitively collapsed. Nevertheless, in 1976 the stock was slightly recovering, and in 1978, 50,000 T were fished. Again in 1979 only 13,000 T were landed.

After the catastrophic 1973-1975 catches, the *S. aurita* stock was so low that it seemed unable to recover to its previous level. The collapse was explained by three hypotheses (Anonymous, 1976). (1) An evident overfishing in 1972, due to unusual availability of the

fish. The very strong year class from the 1971 spawning season yielded high catches just before 1972 spawning. (2) As zooplankton feeders, the *Sardinella* might be affected by the decrease of the total zooplankton abundance recorded since 1972 (Binet, 1976). This plankton decrease was related first to the 1972 Sahelian drought, and second to the 1973 weak upwelling. The organic matter and nutrients carried to the sea by the rivers were probably less in the 1972 dry period and did not allow the usual plankton development. In 1973, the weak upwelling inhibited the *Calanoides carinatus* outburst, which usually occurs in cold waters. (3) The sudden increase of the trigger fish *Balistes capriscus* from 1970 is a very important indication of changes in the ecosystem. But the ecological relationships (e.g., competition and predation on juveniles) between *Balistes* and *Sardinella* are not clear. In other African coastal areas the *Balistes* increase has been recorded without collapse of *Sardinella*.

The partial recovery of the stock in 1978 provided an opportunity to reconsider the coupling of the biological and physical dynamics. The annual catch variations were compared with the non-biological climatic and hydrographic parameters of precipitation and upwelling.

The seasonal relationship between catch and upwelling has been well demonstrated. The main fishing season is the upwelling period, when the fish schools appear in coastal and shallow waters and are therefore more vulnerable to fishing gear. Over a 5-year period, Bakun (1978) noticed an annual coincidence between periods of extremely good fishing and strong upwelling. But, due to lack of data, he could not quantify the correlation. With the present 14 years of data, the correlation coefficient ( $r = 0.27$ ) between catch and Abidjan upwelling index is not significant.

The coincidence of subnormal coastal rainfall and strong upwelling has been recorded off Ghana by Bakun (1978) and off

### CONTENTS

- BINET—Relationship between climate and fishery in the Gulf of Guinea  
CHELTON AND O'BRIEN—Satellite microwave measurements of surface wind speed in the tropical Pacific  
TOMCZAK—Water masses of the thermocline in the tropical Indian Ocean  
HANSON, KRAUS, BEAN AND DERR—Air-sea interaction under coastal stratocumulus  
REYES AND VOGEL—Meteorological observations in the tropical eastern Pacific region  
HU AND HALPERN—Seasonal variability of upper ocean hydrographic properties in the equatorial western Pacific  
RADOK AND SOUDER—A preliminary comparison of recent SST estimates for the eastern Pacific  
MEETINGS

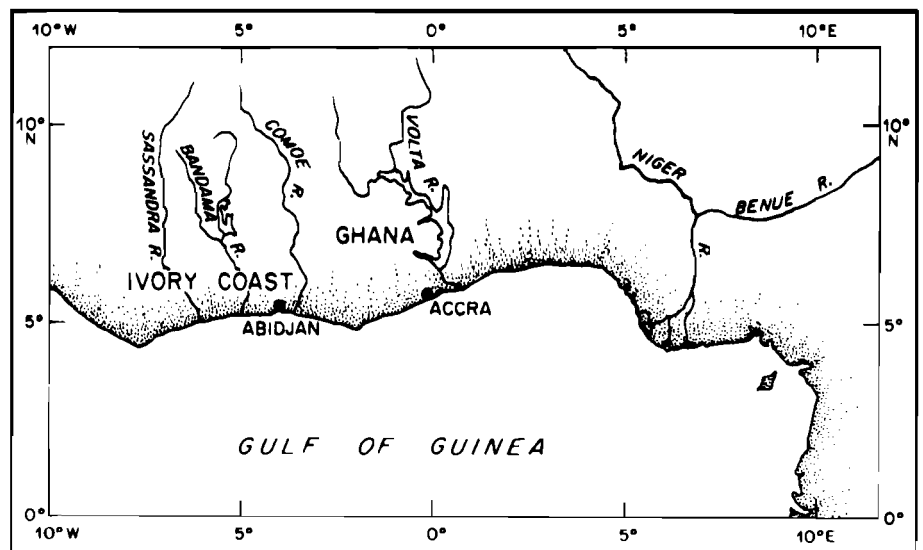


FIGURE 1 (Binet)  
Map of the Gulf of Guinea with the main rivers.



Ivory Coast by Hisard (1980). The present data show a negative correlation coefficient ( $r = -0.65$ ) between the Abidjan upwelling index and the flow of the main Ivorian rivers, Bandama and Comoé. However, if we consider the scatter diagram relating catch and river discharge, two data subsets appear. During the five years following the catastrophic overfishing, the fish stocks were at a very low level and recovered slowly. Data from all other years indicate a roughly equilibrated stock. Assuming this data separation in two statistical populations is valid, the two negative correlation coefficients between river discharge and sardine catch ( $r = -0.82$  and  $r = -0.75$ ) are significant.

The negative correlations between the catch of a plankton feeder fish and riverine flow carrying nutrients to the sea is surprising, especially since a positive correlation between

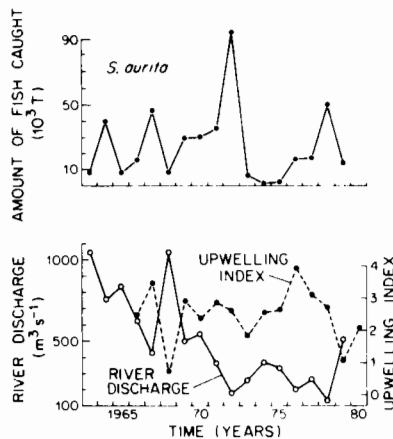


FIGURE 2 (Binet)

Annual variations of the total *Sardinella aurita* catch, discharge of the Bandama and Comoé Rivers (solid line), and upwelling index at Abidjan (dotted line).

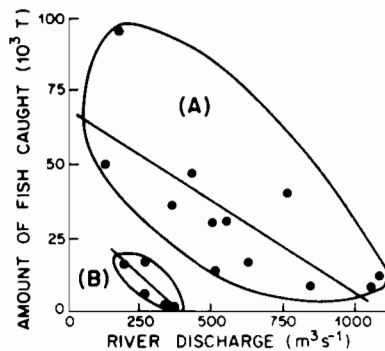


FIGURE 3 (Binet)

Correlation between the yearly catch and the river flow: (A) equilibrated stock,  $r = -0.75$ ; (B) overfished, recovering stock,  $r = -0.82$ .

zooplankton and river flood has been demonstrated. An explanation of this apparent contradiction may be the fish behavior towards the hydrological environment.

The *S. aurita* avoid warm waters with low salinity and spend the warm season in the deeper parts of the shelf. At the beginning of the upwelling season they migrate towards the shore and near the surface. This seasonal migration looks like that of *C. carinatus*. The upwelling season occurs simultaneously with river flooding, and the behavior of the *Sardinella* towards the flood and upwelling waters is probably antagonistic. If the upwelling is strong and the river flow weak, the *S. aurita* will move towards the shore and be easily overfished. On the contrary, if a weak upwelling occurs at the same time as a strong flood, the *Sardinella* will remain in the middle or on the edge of the shelf, too far from the coast for the canoes and too deep to be caught by the purse-seiners.

It seems that climatic parameters probably determine the intensity of shoreward seasonal migration and consequently, the vulnerability of *S. aurita* to the fishing gear. If the stock is not overfished, the catch variations will depend largely on the environmental changes and only a little on the fishing effort. But some environmental conditions may induce overfishing!

If the climatic change increasing the fish vulnerability impoverishes the food web, as did the drought off Ivory Coast, the overfishing may be catastrophic. The failure of the Peruvian anchovy fishery following the 1972 El Niño probably has a similar explanation, although the climatic perturbed parameter is quite different.

#### References

- Anonymous (1976) Rapport du groupe de travail sur la Sardinelle des Côte ivoiro-ghanéennes. Fishery Research Unit Tema, Centre de Recherches Océanographiques Abidjan, ORSTOM, 62 pp., 27 figures.
- Bakun, A. (1978) The Guinea Current upwelling. *Nature*, 271, 147-150.
- Binet, D. (1976) Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au-dessus du plateau ivoirien. *Cahiers ORSTOM, série Océanographie*, 14, 301-326.
- Hisard, P. (1980) Observation de réponses de type "El Niño" dans l'Atlantique tropical oriental, Golfe de Guinée. *Océanologica Acta*, 3, 69-78.

Denis Binet  
ORSTOM  
B. P. A5  
Nouméa Cedex  
New Caledonia



## LA PECHE DU TROCA EN NOUVELLE-CALEDONIE

Philippe Bouchet et William Bour  
Centre ORSTOM  
B.P. A5, Nouméa  
Nouvelle-Calédonie

Le troca (*Trochus niloticus*) est un mollusque gastéropode vivant sur les récifs de la région intertropicale indo-ouest pacifique. Il est exploité pour sa nacre et la Nouvelle-Calédonie en exporte depuis le début du siècle. Sa pêche se pratique à marée basse sur les récifs ou en plongée sans bouteille par petits fonds de 1 à 5 mètres. Après l'avoir fait bouillir, les pêcheurs extraient l'animal qui est généralement jeté; les coquilles sont nettoyées et séchées, puis expédiées au prix moyen de 26.000 F. CFP la tonne sur Nouméa où elles sont de nouveau nettoyées et calibrées avant l'exportation sur l'Europe (54 pour cent) ou le Japon (41 pour cent) au prix moyen de 45.000 F. CFP la tonne. La nacre est utilisée pour la fabrication de boutons (Fig. 1) et, dans une moindre mesure, en bijouterie fantaisie et articles de 'curios'. Les déchets de cette industrie sont broyés et la poudre est utilisée lors de la fabrication des peintures et du vernis à ongles. Bien que seuls 0,5 pour cent des boutons fabriqués dans le monde soient en nacre, il y a cependant une demande annuelle de l'ordre de 6.000 t de coquilles de trocas bruts.

En 1978, la Nouvelle-Calédonie a exporté 1.900 tonnes de trocas, soit plus de 30 pour cent de la production mondiale. Ce chiffre en fait, en valeur, la première exportation non métallurgique du territoire et c'est bien souvent la seule source de revenus des tribus du nord et du nord-est de la Nouvelle-Calédonie. Il n'y a pas de population de troca exploitable aux îles Loyauté et à l'île des Pins. L'essentiel des récoltes provient du lagon de la côte Ouest (Fig. 2) où elles sont le fait de pêcheurs tahitiens ou européens jusqu'à Voh. Plus au nord, sur la côte Est et dans le sud, les pêcheurs sont mélanésiens. Les tonnages considérables de ces dernières années sont dus à la longue période du 'boom' minier pendant laquelle la pêche du troca était très faible, ou nulle: les stocks ont donc eu le temps de se reconstituer.

Le Centre ORSTOM de Nouméa a étudié la croissance du troca grâce à des marquages (Fig 4) de coquilles recapturées périodiquement au cours de 18 mois<sup>1</sup>. En effet, la croissance du troca est relativement rapide pendant les 2-3 premières années, jusqu'à 8 cm, puis devient très lente; il faut une dizaine d'années pour que le troca atteigne 12 cm (diamètre à la base). Ce sont ces gros trocas de diamètre supérieur à 11 cm qui ont fait l'essentiel des prises de 1977-1978. Il est vraisemblable qu'en 1979, les prises pourront encore se maintenir au dessus de 1000 tonnes, mais nous risquons d'assister au début des années 1980 à une chute assez brutale.



Fig. 1: Ébauches de boutons découpées dans les coquilles de trocas.

1. Un rapport sur ce travail est en préparation.

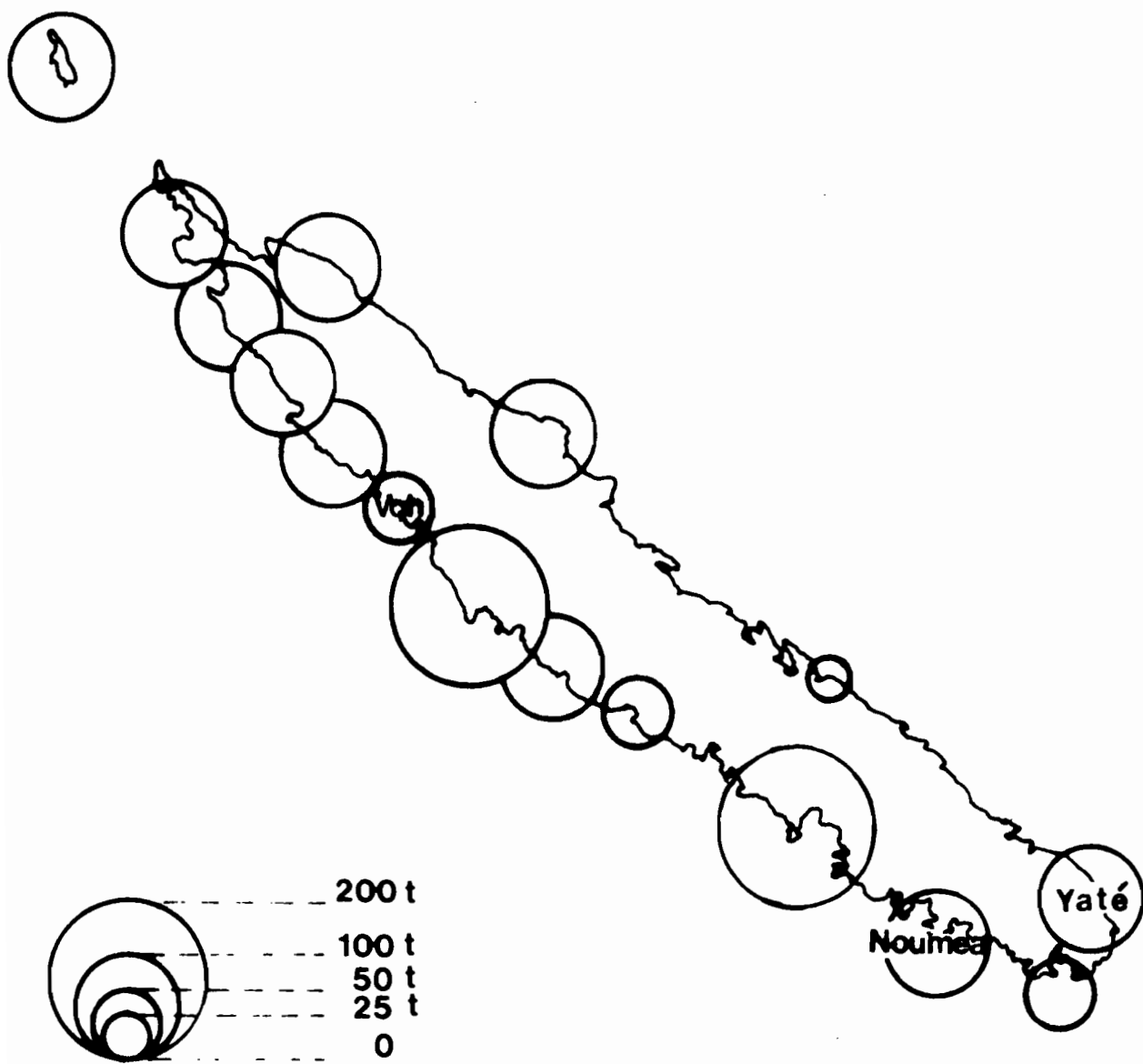


Fig. 2. Répartition des prises de trocas en 1978.

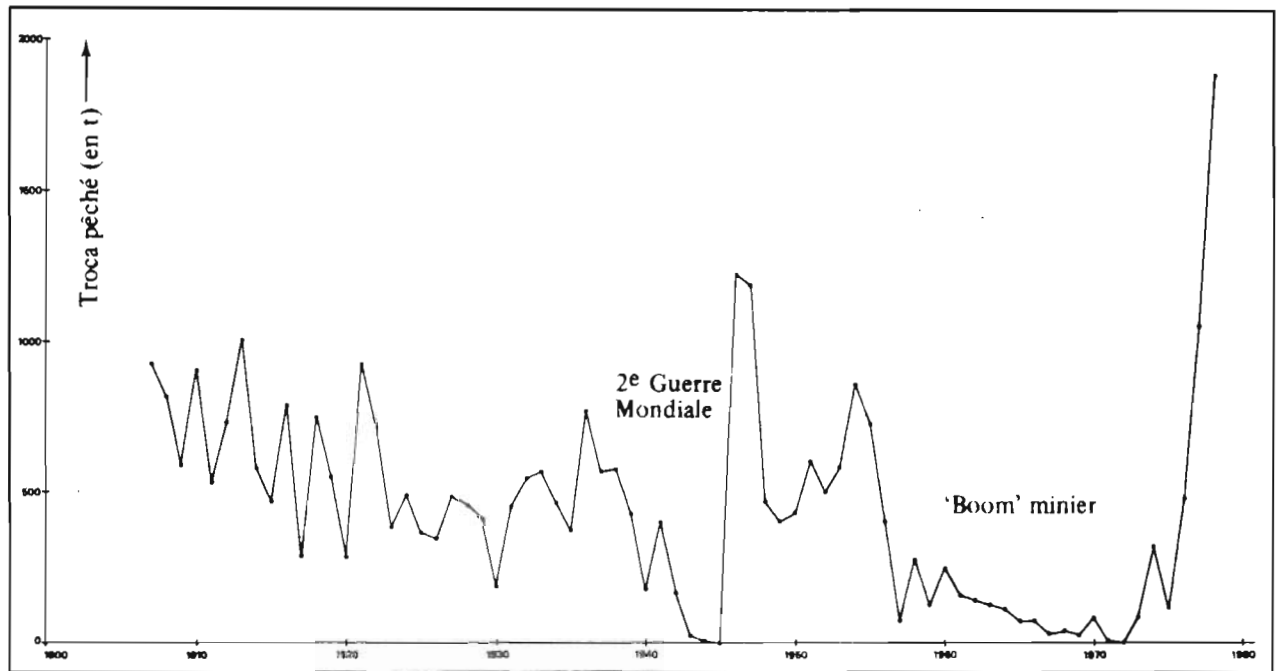


Fig. 3: Evolution des quantités annuelles de troca exportés par la Nouvelle-Calédonie depuis 1907.

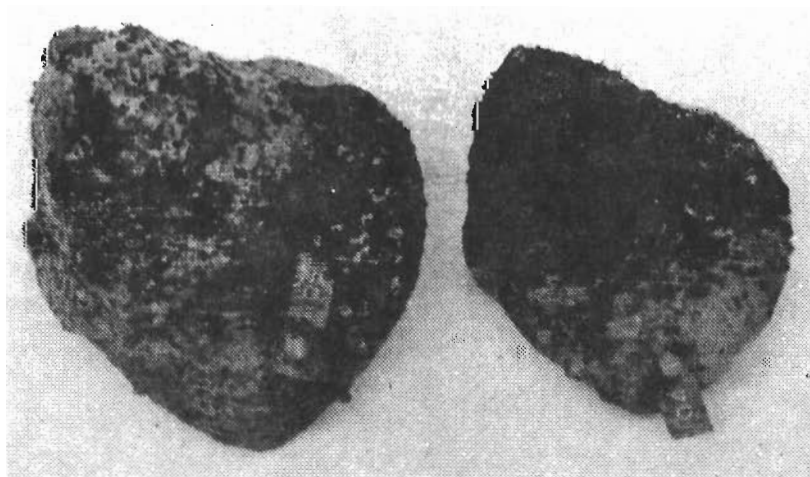


Fig. 4: Trocas marqués pour l'étude de la croissance.

Actuellement, la pêche au troca est autorisée toute l'année pour les personnes détentrices d'une autorisation, délivrée gratuitement par les Affaires Maritimes. Seuls les trocas dont le diamètre atteint ou dépasse 8 cm peuvent être pêchés. A cette taille, les trocas ont déjà commencé à se reproduire, puisque la maturité sexuelle est atteinte pour un diamètre de 6,5 - 7 cm. Ce sont les individus de petite taille (6- 10cm) qui sont les plus prisés sur le marché européen, les gros (12 cm et au-dessus) individus ont une nacre médiocre, trop épaisse et encroûtée d'algues calcaires. Certains pays ont une réglementation autorisant la capture des trocas entre 6 et 12 cm de diamètre; la reproduction est alors assurée par les très gros individus; le tonnage plus faible de nacre récoltée est compensé dans ce cas par la meilleure qualité de la nacre des jeunes individus. L'adoption d'une telle réglementation en Nouvelle-Calédonie pourrait être envisagée, mais se heurte à des difficultés pour certains récifs: dans le sud, par exemple (Unia, Yaté, Touaourou, Goro) les populations sont déjà surexploitées et tous les individus sont pêchés avant d'avoir atteint 9 cm. Dans l'hypothèse d'une nouvelle réglementation, le stock des reproducteurs ne serait donc plus sauvegardé et il faudrait réensemencer les récifs avec plusieurs tonnes de vieux reproducteurs pêchés sur le lagon de la côte Ouest.

Dans l'état actuel des stocks, il ne semble pas nécessaire de changer la réglementation de la pêche. Il est certain que les tonnages de 1977-1978 ne pourront se maintenir mais les récifs de Nouvelle-Calédonie doivent pouvoir continuer à produire 1000 t/an, soit 17 pour cent de la consommation mondiale, sans surexploitation si les prises sont régulièrement réparties sur l'ensemble du lagon.





**BECHE-DE-MER EN NOUVELLE-CALEDONIE  
EVOLUTION DU POIDS ET DE LA LONGUEUR DE QUELQUES ESPECES  
D'HOLOTHURIES AU COURS DE LEUR PREPARATION**

**Chantal Conand  
Centre ORSTOM, BP A5,  
Nouméa, Nouvelle-Calédonie.**

**INTRODUCTION**

La pêche des holothuries en vue de leur transformation en bêche-de-mer ou trévang constituait, au dix-neuvième et au début du vingtième siècle, une activité prospère dans plusieurs îles du Pacifique tropical; elle connaît actuellement une certaine renaissance.

En Nouvelle-Calédonie, où les récifs et lagons occupent environ dix neuf mille kilomètres carrés, cette pêche pourrait contribuer à une diversification des sources de revenus des populations côtières. Des stages ont été organisés par le Service Territorial du Développement pour apprendre aux pêcheurs les procédés de traitement employés aux Fidji. C'est pendant ces stages d'une part, et au cours des premiers essais de traitement d'un exportateur d'autre part, qu'un échantillonnage a permis d'obtenir les poids et longueurs des trois espèces les plus rentables économiquement. La réduction de ces paramètres au cours des principales étapes que sont la cuisson, le fumage et le séchage, a été calculée.

Avant le traitement, les holothuries sont conservées dans des bacs d'eau de mer. Les individus contractés ou éviscérés ne sont pas pris en compte dans l'échantillonnage. La longueur est mesurée dorsalement, de la bouche à l'anus, avec un mètre souple.

**RESULTATS**

1. Holothuries à mamelles (*Microthele nobilis* - teat fish ou mammy fish)

a) Holothurie blanche à mamelles

C'est une forme de grande taille, caractérisée par environ six paires de grandes papilles latérales; sa couleur peut varier du brun à un blanc crème plus ou moins tacheté; son tégument atteint deux centimètres d'épaisseur; en Nouvelle-Calédonie, elle est localisée près des passes du récif, au delà de cinq mètres de profondeur.

b) Holothurie noire à mamelles

Son tégument est de couleur sombre; les papilles latérales et les dents anales sont moins développées que chez la forme blanche; sa répartition est plus superficielle; elle se trouve dans les herbiers de phanérogames et sur le sable corallien des pentes récifales; l'épaisseur du tégument peut atteindre deux centimètres.

La comparaison des deux premiers tableaux met en évidence que les individus de la forme blanche sont de plus grande taille (longueur moyenne de cinquante-deux centimètres et poids moyen de 4,2 kilogrammes) que ceux de la forme noire (longueur moyenne de trente sept centimètres et poids moyen de 1,7 kg). Cependant cette dernière est en Nouvelle-Calédonie plus abondante et sa récolte est plus facile.



**Tableau 1: Evolution de la longueur et du poids de l'holothurie blanche à mamelles - Effectif de l'échantillon : 13 individus**

	Etat initial	Cuisson	Fumage	Séchage
<b>Durée en heures</b>	-	1	48	168
<b>Longueur (L) en cm</b>				
<b>Minimum</b>	39	27	20	20
<b>Maximum</b>	64	39	30	29
<b>(L) moyenne</b>	52	33	24	23
<b>% moyen de (L) initiale</b>	-	63	46	44
<b>Poids (P) en g</b>				
<b>Minimum</b>	1750	950	240	230
<b>Maximum</b>	6100	1780	630	470
<b>(P) moyen</b>	4220	1230	340	320
<b>% moyen de (P) frais</b>	-	29	8	8

**Tableau 2: Evolution de la longueur et du poids de l'holothurie noire à mamelles - Effectif de l'échantillon: 70 individus**

	Etat initial	Fumage	Séchage	Séchage
<b>Durée en heures</b>	-	48	192	248
<b>Longueur (L) en cm</b>				
<b>Minimum</b>	25	14	13	12
<b>Maximum</b>	59	30	24	24
<b>(L) moyenne</b>	37	20	19	19
<b>moyen de (L) initiale</b>	-	54	51	51
<b>Poids (P) en g</b>				
<b>Minimum</b>	800	50	50	45
<b>Maximum</b>	3750	650	340	320
<b>(P) moyen</b>	1730	223	170	150
<b>% moyen de (P) frais</b>	-	13	10	9

## 2. Holothurie ananas (*Thelenota ananas* - prickly fish)

Elle est reconnaissable à sa couleur rougeâtre et aux grandes papilles groupées par deux ou trois sur sa partie dorsale; l'épaisseur de tégument atteint deux centimètres. On peut la récolter jusqu'à quinze mètres environ sur les pentes récifales.

**Tableau 3: Evolution de la longueur et du poids de l'holothurie ananas - Effectif de l'échantillon: 13 individus**

	Etat initial	Fumage	Séchage	Séchage
Durée en heures	-	48	192	240
<b>Longueur (L) en cm</b>				
Minimum	47	20	15	15
Maximum	78	36	33	33
(L) moyenne	58	24	22	22
% moyen de (L) initiale	-	41	38	38
<b>Poids (P) en g</b>				
Minimum	2400	150	85	85
Maximum	9500	750	480	460
(P) moyen	4000	290	186	184
% moyen de (P) frais	-	7	5	5

### 3. Holothurie marron (*Actinopyga echinites* - deep-water red fish)

C'est une holothurie de couleur brune qui porte de nombreuses papilles; sa face dorsale est généralement recouverte d'une pellicule de sable. Elle se trouve en grande abondance sur les platiers où sa récolte aisée peut permettre d'en envisager l'exploitation malgré sa petite taille et son tégument moins épais (un centimètre) que les espèces précédentes.

**Tableau 4: Evolution de la longueur et du poids de l'holothurie marron - Effectif de l'échantillon: 40 individus**

	Etat initial	Fumage	Séchage
Durée en heures	-	48	160
<b>Longueur (L) en cm</b>			
Minimum	14	-	7
Maximum	29	-	11
(L) moyenne	19	-	9
% moyen de (L) initiale	-	-	47
<b>Poids (P) en g</b>			
Minimum	160	-	15
Maximum	725	-	65
(P) moyen	330	-	37
%moyen de (P) frais	-	-	11

## INTERPRETATION

L'examen des tableaux précédents met nettement en évidence une importante réduction de la longueur et du poids des holothuries au cours de leur traitement. La longueur du produit sec est importante pour l'établissement du prix de vente. En effet après un premier tri par espèce, les bêtes-de-mer sont classées en catégories suivant des critères de longueur, de couleur et d'odeur; les plus grands spécimens obtiennent les prix les plus élevés. La longueur du produit sec correspond à environ la moitié de la longueur initiale pour *Microthele nobilis* et *Actinopyga echinites*; elle est légèrement inférieure pour *Thelenota ananas*.

Il peut être intéressant de comparer ces résultats à ceux qui ont été trouvés dans d'autres régions du Pacifique. Le tableau 5 met en évidence que le poids du produit sec par rapport au produit initial présente des variations suivant les auteurs. Ainsi la perte de poids des holothuries à mamelles ne serait que de 58,6 pour cent d'après Parrish (1978), 75 à 89 pour cent selon Howell et Henry (1977) alors qu'elle se situe vers 90 pour cent pour les autres auteurs. Ces différences peuvent provenir pour une part des échantillonnages, les effectifs et les paramètres des distributions de poids étant différents, pour une autre part du traitement, le temps de séchage variant de deux à quatre jours. En Nouvelle-Calédonie le séchage prolongé permet d'obtenir un produit très sec, donc de bonne qualité.

Le tableau 5 permet cette comparaison, n étant l'effectif des holothuries étudiées au cours du traitement, (L) la longueur et (P) le poids du produit fini exprimés en pourcentage de la longueur et du poids initiaux.

**Tableau 5: Longueur et poids du produit sec exprimés en pourcentage du produit frais, selon différents auteurs**

	<i>Microthele nobilis</i>			<i>Thelenota ananas</i>		
	n	L%	P%	n	L%	P%
Crean (1977) Iles Salomon	5	51,8	6,8	-	-	-
Howell et Henry (1977) Territoire sous tutelle des Iles du Pacifique	10	-	11 à 25	1	-	11
Parrish (1978) Queensland, Australie	8	-	41,4	64	-	8,2
Conand (1979) Nouvelle-Calédonie	13	forme blanche		18	38	5
		44	8			
	70	forme noire				
		51	9			

## CONCLUSIONS

L'étude des holothuries réalisée au cours de leur traitement en Nouvelle Calédonie fournit des indications sur la longueur et le poids moyen des individus de quatre variétés économiquement intéressantes et sur les réductions de taille et de poids au cours du traitement. Il faut généralement une dizaine de kilogrammes d'holothuries vivantes pour obtenir un kilogramme de bêche-de-mer. La longueur du produit fini représente approximativement la moitié de la longueur de l'animal vivant.

## BIBLIOGRAPHIE

- Crean, K., 1977: L'exploitation de la bêche-de-mer à Ongtong Java, dans les Iles Salomon. *Lettre d'information de la Commission du Pacifique Sud sur les pêches*, 15: 37-49.
- Howell, R. et Henry, M. 1977: Dried sea cucumber processing. Report Marine Resources and Development, Truk District, Trust Territory of the Pacific Islands.
- Parrish, P. 1978: Processing guidelines for bêche-de-mer. *Australian Fisheries*, 10 (17): 26-27.





# CONTINUITÉ ZONALE ET CIRCULATION MÉRIDienne DU MAXIMUM DE NITRITE DANS LE PACIFIQUE ÉQUATORIAL SUD-OUEST

## II. Interprétation : un aspect de la régénération des sels nutritifs

CLAUDE OUDOT

Océanographe Physicien O.R.S.T.O.M.  
C.R.O. B.P. V 18 Abidjan (R.C.I.)

### RÉSUMÉ

*La distribution comparée du nitrite à celles des autres paramètres biochimiques (nitrate, ammoniac, phosphate, oxygène, biomasse végétale) permet de dégager l'originalité de la zone étudiée. Les différentes hypothèses rendant compte de la formation de nitrite dans l'océan sont passées en revue. La nitrification paraît la voie la mieux adaptée au cas particulier de la « poche à nitrite ». La question de la régénération des sels nutritifs dans les couches supérieures de l'océan est discutée.*

### ABSTRACT

ZONAL CONTINUITY AND MERIDIAN CIRCULATION OF THE NITRITE MAXIMUM IN THE SOUTH-WEST EQUATORIAL PACIFIC. II. INTERPRETATION : A LOOK AT THE REGENERATION OF NUTRIENTS

*The nitrite distribution is compared to the distributions of the other biochemical parameters (nitrate, ammonia, phosphate, oxygen and phytoplankton biomass) in order to show the originality of this area. In contrast to the situations usually described by several authors, the nitrite maximum does not coincide exactly with the pycnocline. The highest ammonia concentrations are found just above the nitrite accumulation layer, and ammonia plus nitrite make up for the deficit of nitrate versus phosphate in the N-P regression. The different hypotheses trying to explain the nitrite formation in the sea are reviewed: the nitrification is the most likely process responsible for the nitrite accumulation. The close relationship between the nitrite maximum and the upper high gradient of nitrate considered in the hypothesis of nitrate assimilation by phytoplankton is not observed in the "nitrite pouch"; moreover the nitrite production is higher than the nitrate diminution. The bacterial reduction of nitrate is not realistic in a well oxygenated layer. Some arguments for the nitrification (distributions of pH, CO<sub>2</sub> and dissolved organic nitrogen, intermediate position of nitrite maximum between ammonia maximum and nitrate reinforced gradient) are put forward.*

*A relatively short residence time of the nitrite (about 30 days) associated with an important fraction of the nitrite within the inorganic nitrogen compounds (30 to 40 %) emphasize the major influence of regeneration processes in the nutrients distribution and the estimate of primary production in the equatorial ecosystem.*

### I. INTRODUCTION

L'attrait manifesté par les océanographes pour l'étude du nitrite ne peut s'expliquer uniquement par la facilité analytique reconnue depuis longtemps d'accéder à un paramètre, dont la distribution parti-

culière dans certaines situations hydrologiques fournit des renseignements très utiles sur la circulation des masses d'eau (WOOSTER *et al.*, 1965; OUDOT *et al.*, 1969; HATTORI et WADA, 1971). Par le caractère ambivalent du nitrite dans les mécanismes d'oxydo-réduction du cycle de l'azote, l'origine des concentra-

lions plus ou moins élevées de ce sel nutritif rencontrées çà et là dans l'océan est souvent un sujet de controverse entre chercheurs.

On distingue habituellement dans les régions tropicales, le maximum primaire situé au sommet de la thermocline du maximum secondaire relevé dans des couches plus profondes, généralement appauvries en oxygène. La plupart des auteurs qui ont étudié la distribution du maximum profond, notamment dans les parties orientales nord et sud du Pacifique (BRANDHORST, 1959; THOMAS, 1966; WOOSTER, 1967; GOERING, 1968; FIADREIRO et STRICKLAND, 1968; GOERING et CLINE, 1970; CODISPOTI et RICHARDS, 1976) s'accordent pour attribuer l'origine du nitrite à la réduction du nitrate : dans des eaux épuisées en oxygène (teneur  $< 0,1$  ml  $O_2/l$ ), des bactéries marines hétérotrophes seraient susceptibles d'utiliser l'azote du nitrate comme accepteur d'électrons à la place de l'oxygène. La réduction du nitrate a été vérifiée expérimentalement à l'aide d'azote marqué ( $^{15}N$ ) jusqu'au stade nitrite et même au-delà (dénitrification) jusqu'à l'apparition d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) et d'azote moléculaire ( $N_2$ ) (GOERING et DUGDALE, 1966; GOERING, 1968; WADA et HATTORI, 1972). CARLUCCI et SCHUBERT (1969) ont isolé dans le maximum secondaire au large du Pérou des bactéries hétérotrophes capables d'assurer la réduction du nitrate en nitrite. Dernièrement DUGDALE *et al.* (1977) ont découvert, dans la même région, que la dénitrification pouvait parfois conduire à l'épuisement total en nitrate et nitrite avec apparition d'ammoniaque accompagnée d'une forte odeur d'hydrogène sulfuré. VOITURIEZ et HERBLAND (1977 a) font remarquer que dans l'Atlantique aucun maximum profond de nitrite associé à des valeurs d'oxygène inférieures à 0,5 ml/l n'a été rapporté, et en s'appuyant sur les travaux de CARLUCCI et McNALLY (1969) ils estiment par contre que le maximum secondaire de nitrite observé dans le Dôme de Guinée au niveau d'un minimum d'oxygène ( $[O_2]$  est de l'ordre de 0,6 ml/l) pourrait être dû à un ralentissement du processus de nitrification.

En revanche l'origine du maximum primaire dans des couches bien oxygénées est largement controversé et il est vraisemblable qu'un mécanisme unique ne puisse pas rendre compte de toutes les accumulations de nitrite rencontrées à la base de la couche euphotique. Le processus le plus souvent retenu aujourd'hui est celui suggéré par VACCARO et RYTHER (1960) et vérifié par des études de laboratoire de CARLUCCI *et al.* (1970) : le nitrate, présent en abondance et dans des conditions limitantes de lumière, est réduit en nitrite extracellulaire (HISARD et PITON, 1969; HATTORI et WADA, 1971; WADA et HATTORI 1971); KIEFER *et al.* (1976) et VOITURIEZ et HERBLAND (1977 b) tirent argument de cette

explication pour utiliser le maximum de nitrite comme indicateur de production nouvelle et de la limite inférieure de la zone euphotique. HATTORI et WADA (1971) admettent également, pour avoir rencontré partout dans les eaux peu profondes du Pacifique sud équatorial des bactéries réductrices de nitrate, que le maximum primaire de nitrite résulte dans cette région de la réduction bactérienne du nitrate. Cependant, déjà en 1959 BRANDHORST fait remarquer que le rôle de bactéries hétérotrophes devant assurer leur croissance aux dépens de substances organiques dans des eaux largement oxygénées paraît improbable à ce niveau. Cet auteur, le premier, a attribué l'accumulation de nitrite dans le maximum primaire à l'action de bactéries nitrifiantes oxydant l'ammoniaque et qui, elles, sont autotrophes : ces bactéries (*Nitrosomonas* et *Nitrosococcus*) peuvent vivre en absence de matière organique en puisant le carbone à travers l'assimilation du gaz carbonique et l'énergie à travers l'oxydation d'ammoniaque en nitrite. Bon nombre d'études ultérieures dans des régions diverses (VACCARO, 1962; MIYAKE et WADA, 1968; CALVERT et PRICE, 1971; WADA et HATTORI, 1971; MIYAZAKI *et al.*, 1975) sont en faveur d'un tel processus. Pour notre part nous retenons cette interprétation pour argumenter une théorie de reminéralisation des déchets de la production équatoriale (OUDOT *et al.*, 1972).

Signalons enfin que, outre les agents biologiques, certains processus photochimiques peuvent intervenir dans le cycle de l'azote minéral : photooxydation de l'ammoniaque (RAKESTRAW et HOLLANDER, 1936) et photoréduction du nitrate (HAMILTON, 1964). Mais il est peu probable que ces réactions jouent un rôle important dans la transformation des composés azotés minéraux dans la mer (SPENCER, 1975), sauf peut-être dans les couches largement éclairées immédiatement sous la surface de la mer.

Le nitrite, contrairement au nitrate, est une forme instable de l'azote minéral. Pour BRANDHORST (1959) qui le qualifie de « ephemeral nutrient », la concentration de nitrite est déterminée par l'équilibre entre les processus de formation et de disparition qui dépend de facteurs biologiques, chimiques et de conditions océanographiques hautement variables. Après avoir discuté des facteurs hydrologiques d'équilibre régulant la distribution du nitrite dans le Pacifique tropical sud-ouest au niveau de la « poche à nitrite » (OUDOT, 1978 a) nous voulons examiner maintenant pourquoi l'oxydation de l'ammoniaque nous paraît être le processus le plus approprié pour expliquer l'accumulation de nitrite, nous permettant ainsi d'illustrer un aspect de la régénération des sels nutritifs en zone équatoriale.

Les données utilisées sont celles de la campagne ÉPONITE 2, qui ont servi précédemment à décrire

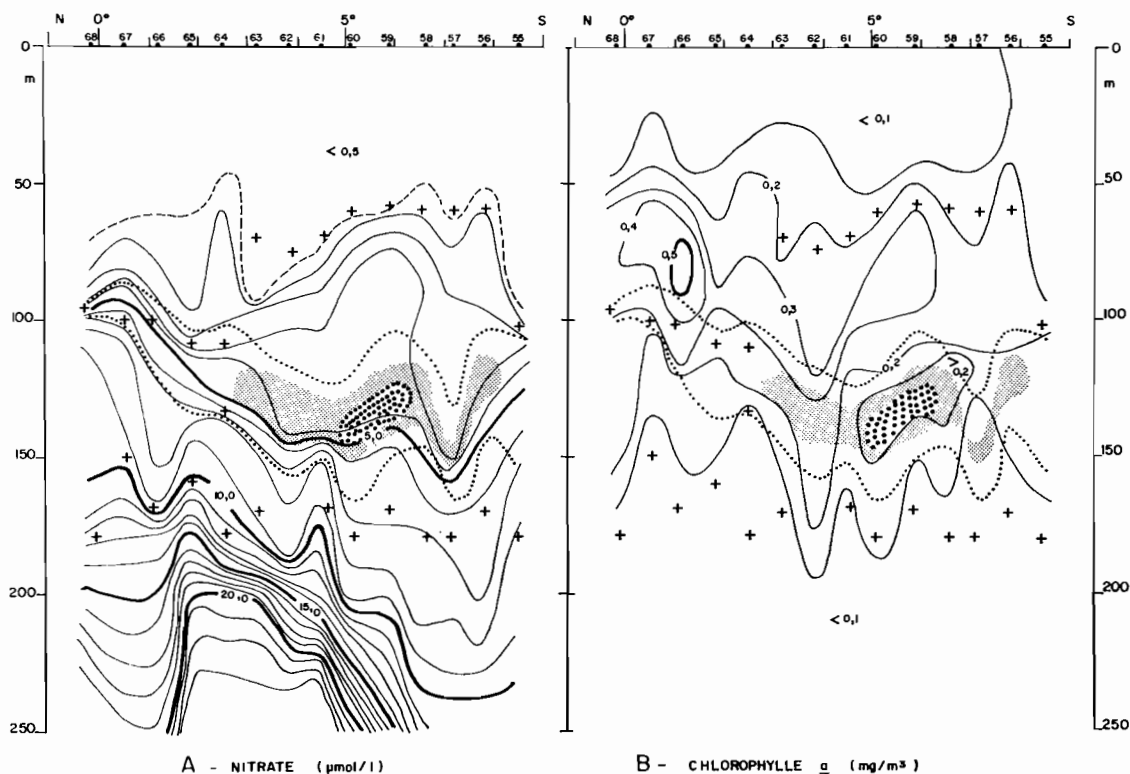


Fig. 1. — Distributions verticales de nitrate et de chlorophylle *a* le long du méridien 166° E (campagne ÉPONITE 2). En pointillés et en zones hachurées : limites 0,5 - 2,0 - 3,0  $\mu\text{mol/l}$  de nitrite. Les croix indiquent les gradients maximums de densité.  
 Vertical distributions of nitrate and chlorophyll *a* along the 166° E meridian (cruise EPONITE 2). In dotted lines and in dotted areas, nitrite limits (0.5 - 2.0 - 3.0  $\mu\text{mol/l}$ ). Crosses show the maximal density gradients.

l'évolution dans l'espace de la couche d'accumulation de nitrite (OUDOT, 1978 a).

## 2. DISTRIBUTION DU NITRITE DANS L'ENVIRONNEMENT BIOCHIMIQUE

Tous les auteurs qui ont étudié jusqu'à présent le maximum primaire de nitrite l'ont décrit situé à la base de la couche euphotique, associé au sommet de la thermocline et au début du gradient de sels nutritifs, nitrate en particulier.

### 2.1. Nitrite et nitrate

Dans le Pacifique tropical occidental le gradient vertical de nitrate (nitracline) à la base de la couche homogène est plus ou moins aigu suivant la latitude, mais reste toujours bien inférieur à celui mentionné dans les régions orientales, comme le suggère la comparaison entre Atlantique et Pacifique de VOITURIEZ et HERBLAND (1977 b).

La figure 1 A rapporte la distribution de nitrate observée à 166° E durant ÉPONITE 2, avec en

surimpression l'emplacement de la couche d'accumulation de nitrite. A l'Équateur où en absence d'upwelling le gradient vertical de nitrate est très accentué, nitrite et nitracline sont étroitement liés. La coïncidence entre le niveau maximum de nitrite et les niveaux de gradients maximums de densité et de sels nutritifs est parfaite (fig. 2 : st. 68). A 5° S, au cœur de la « poche à nitrite », la disposition du maximum de nitrite dans le champ de nitrate est tout autre (fig. 1 A) : le maximum de nitrite est situé à environ 70 mètres en dessous de la nitracline supérieure, base de la couche épuisée en nitrate, et qui reste attachée à un gradient maximum de densité (fig. 2 : st. 60). Le maximum de nitrite se trouve également à proximité d'un gradient maximum de nitrate (et de phosphate), mais cet accroissement subit de nitrate est sans doute de nature différente du premier, car il ne correspond pas à une pycnocline. La comparaison entre ces deux situations suggère que la relation entre nitrite et nitrate est différente : à 5° 10' S pour un gradient de nitrate moitié de celui relevé à l'Équateur, la teneur en nitrite du maximum est 6 fois plus élevée.

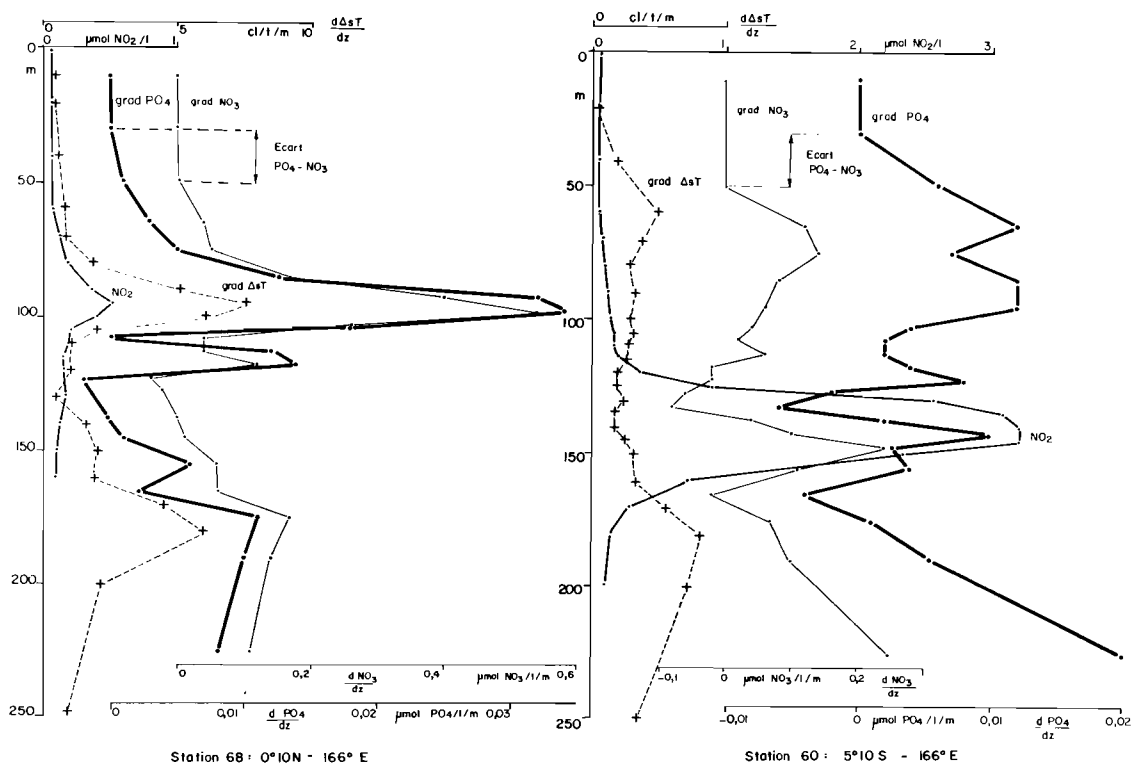


Fig. 2. — Distributions verticales de nitrite et des gradients verticaux de densité, de nitrate et de phosphate (campagne ÉPONITE 2).  
*Vertical distributions of nitrite and vertical gradients of density, nitrate and phosphate (cruise EPONITE 2).*

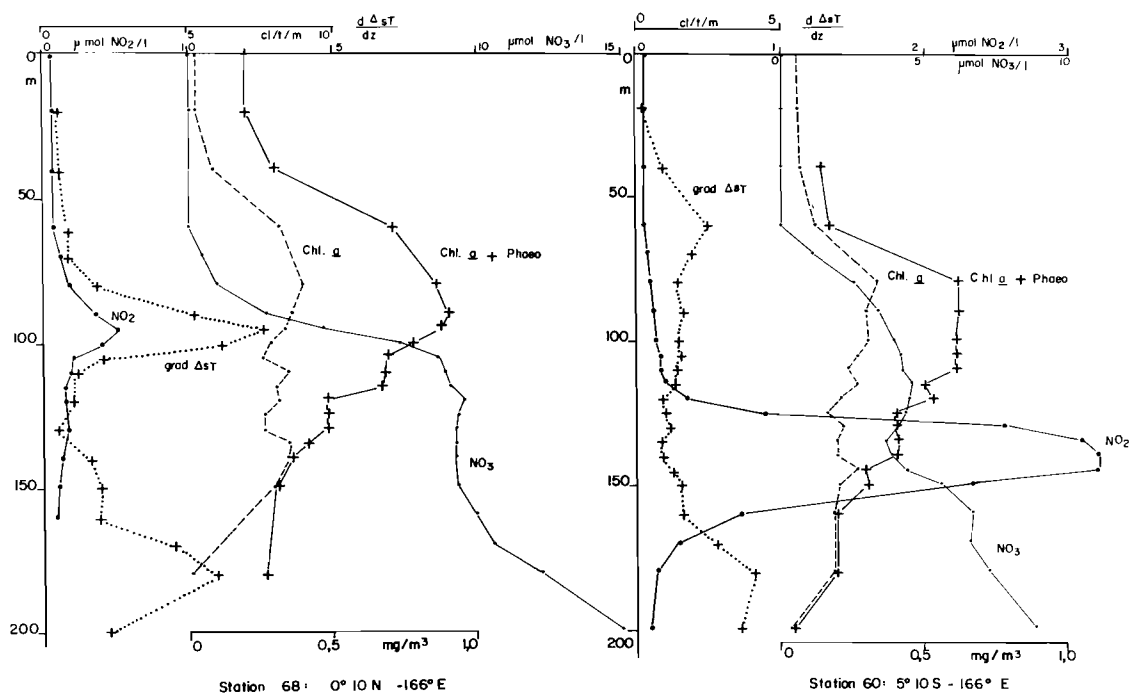


Fig. 3. — Distributions verticales de nitrite, de nitrate, de biomasse végétale et de gradient vertical de densité (campagne ÉPONITE 2).  
*Vertical distributions of nitrite, nitrate, phytoplankton biomass and vertical density gradient (cruise EPONITE 2).*



## 2.2. Nitrite et biomasse végétale

Les concentrations de chlorophylle *a* les plus fortes (fig. 1 B) sont observées à l'Équateur, juste au-dessus de la pycnocline supérieure, là où les gradients élevés de densité et de nitrate (fig. 2 et 3) fournissent à la base de la zone euphotique des conditions favorables à la croissance du phytoplancton. Au sud de 2° S au contraire, le maximum de chlorophylle *a* se développe sous la pycnocline supérieure (fig. 1 B) dans une couche où la stabilité (grad.  $\Delta$  st.) et le gradient de nitrate sont beaucoup plus faibles. A 5° S (fig. 3), le maximum de nitrite est situé dans une couche où la biomasse végétale active et dégradée (Chl.*a* + Phaeo.) est deux fois moindre qu'à l'Équateur.

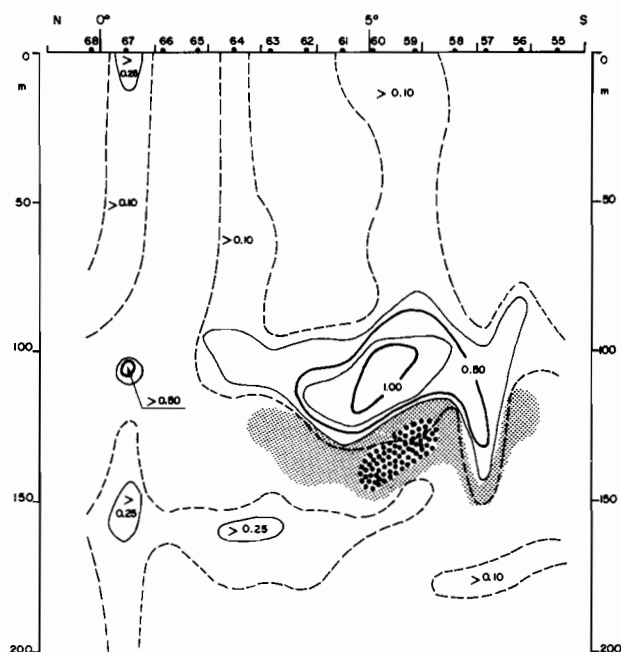


Fig. 4. — Distribution verticale d'ammoniaque ( $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ ) le long du méridien 166° E (campagne ÉPONITE 2). En zones hachurées : limites 2,0 et 3,0  $\mu\text{mol/l}$  de nitrite.  
Vertical distribution of ammonia ( $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ ) along the 166° E meridian (cruise EPONITE 2). In dotted areas, nitrite limits (2.0 and 3.0  $\mu\text{mol/l}$ ).

## 2.3. Nitrite et ammoniacque

La distribution méridienne de l'ammoniacque (fig. 4) ressemble à celle du nitrite dans la mesure où elle présente une couche d'accumulation analogue à celle-ci et située immédiatement au-dessus. Les plus fortes concentrations d'ammoniacque ( $>1 \mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ ) sont trouvées à la même latitude (5°-6° S) que celles de nitrite ( $>3 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ ). Cette super-

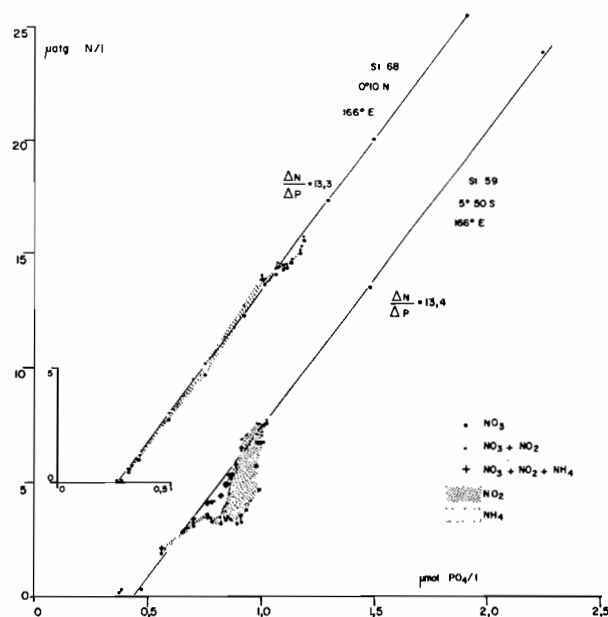


Fig. 5. — Diagramme azote minéral - phosphate à deux stations de la campagne ÉPONITE 2.

*Inorganic nitrogen - phosphorus diagram at two stations of the EPONITE 2 cruise.*

position des accumulations d'ammoniacque et de nitrite se retrouve à chaque coupe méridienne (OUDOT, 1978 a). De plus la disparition d'ammoniacque à l'approche de l'Équateur quand la biomasse végétale augmente (fig. 4 et 1) est un trait constant durant toute la campagne.

Par contre verticalement il semble y avoir une certaine relation d'exclusion entre ammoniacque et nitrite, car à chaque station de la « poche à nitrite », la concentration de  $\text{NH}_4$  diminue rapidement ( $<0,25 \mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ ) quand la concentration de  $\text{NO}_2$  augmente ( $>2 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ ).

La complémentarité entre nitrite et ammoniacque est encore plus manifeste quand on dresse pour une station la corrélation azote minéral-phosphore minéral (fig. 5). A 5° 50 S l'ammoniacque, puis le nitrite comblent pratiquement le déficit de nitrate observé par rapport au phosphore, en considérant une régénération dans des proportions classiques de REDFIELD *et al.* (1963). A l'Équateur (fig. 5 : st. 68) nitrate et phosphate augmentent dans un rapport constant avec la profondeur ; il n'y a donc pas à attendre à cet endroit d'accumulations importantes d'ammoniacque ou de nitrite.

## 2.4. Nitrite et oxygène

Comme l'ont décrit HISARD et PITON (1969) le maximum de nitrite se trouve dans la couche de

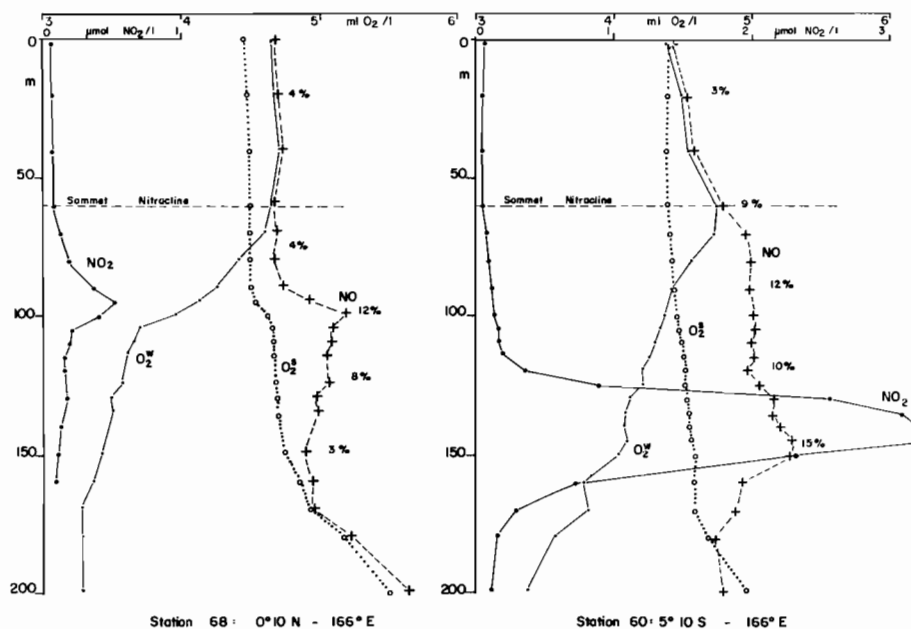


Fig. 6. — Distributions verticales de nitrite et d'oxygène :  $O_2^W$  (oxygène mesuré par la méthode de Winkler) -  $O_2^S$  (solubilité d'oxygène) - NO (oxygène corrigé de la respiration). On a chiffré les pourcentages de sursaturation de NO (campagne ÉPONITE 2).  
 Vertical distributions of nitrite and oxygen :  $O_2^W$  (measured by Winkler method) -  $O_2^S$  (oxygen solubility) - NO (oxygen corrected of respiration). The numbers on NO profiles mean supersaturation percentages (cruise ÉPONITE 2).

gradient d'oxygène (fig. 6), sous la profondeur de 100 % de saturation ( $O_2^W = O_2^S$ ) (1), c'est-à-dire là où la consommation d'oxygène par respiration l'emporte sur la production photosynthétique : le maximum est à 20 m en dessous de cette profondeur à l'Équateur et à 50 m à 5° 10 S. Le gradient d'oxygène au niveau du maximum de  $NO_2$  est, à l'image de celui des sels nutritifs ( $NO_3-PO_4$ ), plus élevé à l'Équateur qu'à 5° S. La profondeur de 100 % de saturation, contrairement aux observations de HERBLAND et VOITURIEZ (1977), ne coïncide pas exactement avec le sommet de la nitracline : l'écart grandit entre l'Équateur (15 m) et 5° 10 S (30 m). Malgré une biomasse végétale moins élevée à 5° 10 S qu'à l'Équateur, les sursaturations d'oxygène dissous ( $O_2^W$ ) dans la couche euphotique sont plus élevées à 5° 10 S, ce qui peut expliquer le plus grand décalage de niveau entre la profondeur de 100 % de saturation ( $O_2^W = O_2^S$ ) et le sommet de la nitracline.

L'oxygène corrigé de la respiration NO (OUDOT, 1978 b) (2) est plus ou moins en excès sur la solubilité d'oxygène. Théoriquement la concentration en oxygène d'une masse d'eau corrigée de la respiration devrait être égale à sa teneur initiale proche de

(1)  $O_2^W$  = oxygène mesuré par la méthode de WINKLER.  
 $O_2^S$  = solubilité d'oxygène.

(2) NO représente l'oxygène corrigé de la respiration en évaluant l'oxygène consommé à partir de la concentration de nitrate :  
 $NO = O_2 + 7NO_3$ .

l'équilibre avec l'atmosphère, comme c'est le cas en surface (sursaturation  $\leq 4$  %) et en profondeur en dessous de 180 m (fig. 6). La sursaturation des couches d'eau subsuperficielles en oxygène corrigé (NO) est interprétée comme le résultat d'un passage en surface à l'occasion d'un upwelling antérieur (OUDOT, 1978 b). Cette sursaturation est beaucoup plus importante à 5° S qu'à l'Équateur tant par l'épaisseur de la tranche d'eau sursaturée que par le nombre des valeurs élevées de sursaturation ( $> 10$  %) : au niveau de la profondeur de 100 % de saturation ( $O_2^W = O_2^S$ ), la sursaturation de NO est 3 fois plus grande à la station 60 qu'à la station 68 (fig. 6). Au niveau du maximum de nitrite, à 5° 10 S, la sursaturation maximale de NO, témoigne d'un enrichissement passé plus important en oxygène, comme le suggère d'ailleurs l'inversion dans la diminution régulière de l'oxygène dissous ( $O_2^W$ ) lorsque la profondeur croît.

### 3. DISCUSSION SUR L'ORIGINE DU NITRITE

#### 3.1. Hypothèse de la réduction phytoplanctonique

VOITURIEZ et HERBLAND (1977 b) s'appuyant sur l'association étroite nitrite-nitrate à la base de la

couche euphotique, systématiquement vérifiée dans différentes situations de l'Atlantique et du Pacifique, pensent qu'il existe un processus unique de formation du maximum primaire de nitrite dans les régions tropicales : la réduction du nitrate par le phytoplancton. Nous pouvons considérer, d'après l'analyse précédente de la distribution du nitrite dans le Pacifique équatorial ouest, que les conditions pour une telle explication sont satisfaites à l'Équateur en absence d'upwelling, où la situation hydrologique est très proche de celle d'un dôme. Dans ce cas le maximum de nitrite se situe au niveau du gradient maximum de nitrate entretenu par les échanges verticaux à partir des couches inférieures riches en sels nutritifs. Comme le suggèrent les exemples présentés par VOITURIEZ et HERBLAND (1977 b) et confirmés par nos observations, il pourrait y avoir une certaine relation de proportionnalité entre la valeur du maximum de nitrite et celle du gradient maximum de nitrate (fig. 7) : plus le gradient de nitrate est élevé, plus la concentration de nitrite est élevée. Cette relation s'accorderait bien avec l'idée d'une production de nitrite à partir de nitrate, l'agent réducteur le plus probable étant le phytoplancton.

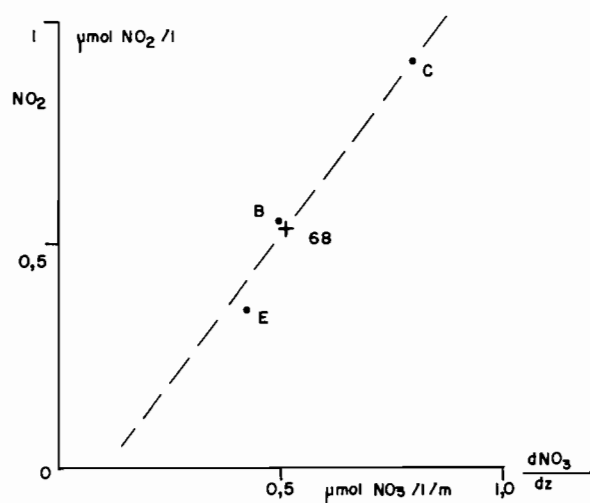


Fig. 7. - Variation du maximum de nitrite associé à la nitracline en fonction du gradient vertical de nitrate : stations B-C-E : VOITURIEZ et HERBLAND, 1977 b - station 68 : campagne ÉPONITE 2.

Maximum of nitrite associated to upper nitrate gradient versus nitrate gradient (stations B,C,E : VOITURIEZ and HERBLAND, 1977b - station 68 : cruise EPONITE 2).

Au niveau de la « poche à nitrite » où l'on rencontre les plus fortes concentrations (supérieures à  $2 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ ) la situation est toute différente. Le maximum de nitrite est largement en dessous des

niveaux critiques reconnus pour contrôler la production de nitrite (sommets de la thermocline et de la nitracline). Les expériences de VACCARO et RYTHER (1960) sur la formation de nitrite conduisent à supposer que le phytoplancton au-dessus du maximum de nitrite se trouve dans des conditions limitantes en azote minéral : ce n'est pas le cas à  $5^\circ \text{S}$  où d'une part la concentration de nitrate dépasse  $4 \mu\text{mol/l}$  et la concentration d'ammoniaque est la plus forte ( $>1 \mu\text{mol NH}_4/\text{l}$ ). De plus si l'on s'en tient à la relation empirique signalée précédemment (fig. 7) entre maximum de nitrite et gradient maximum de nitrate, le maximum de nitrite ( $3 \mu\text{mol/l}$ ), pour la station 60 par exemple, nécessiterait un gradient vertical de nitrate phénoménal de l'ordre de  $3 \mu\text{mol/l/m}$  soit un ordre de grandeur supérieur à celui observé figure 2, ce qui est rarement atteint même dans les dômes.

KIEFER *et al.* (1976), partisans de cette hypothèse ont cherché à quantifier la production de nitrite par réduction phytoplanctonique du nitrate diffusant des couches profondes vers la surface. Ils trouvent, en analysant différents profils du Pacifique central nord que le rapport entre la vitesse de production de nitrite et la vitesse de disparition de nitrate  $\frac{R \text{ NO}_2}{R \text{ NO}_3}$  varie entre  $-0,2$  et  $-0,7$ , résultat confirmé par des expériences sur des cultures de diatomées en laboratoire ( $\frac{R \text{ NO}_2}{R \text{ NO}_3} = -0,3$ ). En appliquant leur raisonnement aux distributions de la « poche à nitrite », le nitrite au niveau du maximum serait produit à 3 fois la vitesse à laquelle le nitrate est consommé ( $\frac{R \text{ NO}_2}{R \text{ NO}_3} = -2,8$  et  $-2,7$  respectivement pour les stations 60 et 59 de ÉPONITE 2) : ceci tend à prouver que le nitrite ne peut être logiquement produit par assimilation phytoplanctonique de nitrate. De même la complémentarité presque parfaite entre nitrite et nitrate dans la régression azote minéral-phosphate, s'accorde mal avec l'idée d'une excrétion de nitrite par le phytoplancton assimilant incomplètement l'azote nitrique.

### 3.2. Hypothèse de la réduction bactérienne

Si cette hypothèse ne fait plus de doute pour expliquer la formation du maximum secondaire où les conditions d'oxygénation sont très particulières, elle est rarement retenue aujourd'hui au niveau du maximum primaire dans une couche à peine épuisée en oxygène (90 % de saturation). De l'analyse des divers aspects du cycle de l'azote dans l'eau de mer faite par SPENCER (1975), il ressort que la réduction

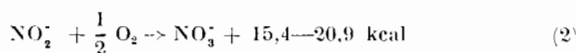
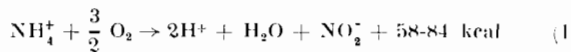
respiratoire du nitrate est inhibée par des concentrations d'oxygène supérieures à 0,2 ml/l.

Lors de la réduction bactérienne du nitrate, une faible part seulement apparaît sous forme de nitrite. CALVERT et PRICE (1971) dans l'Atlantique oriental l'évaluent à 15 % et FIADEIRO et STRICKLAND (1968) dans le maximum secondaire du Pérou à 8-24 %. Les distributions respectives de nitrite et nitrate dans notre cas sont telles que le nitrate n'est pas suffisant pour supporter la production de nitrite.

Il nous semble donc improbable que le nitrite au sein de la « poche à nitrite » soit produit par réduction bactérienne du nitrate.

### 3.3. Hypothèse de la nitrification

La nitrification constitue la voie de régénération du nitrate dans la mer. Elle est assurée par des bactéries nitrifiantes oxydant l'ammoniaque en nitrite (genre *Nitrosomonas*) et le nitrite en nitrate (genre *Nitrobacter*) suivant les équations (SHARMA et AHLER, 1977) :



Ces réactions libèrent de l'énergie pour les bactéries autotrophes qui tirent leur source de carbone à travers l'assimilation du gaz carbonique. Le processus de nitrification s'accompagne donc d'une diminution du pH (réaction 1) et de la quantité de gaz carbonique (consommation de  $\text{CO}_2$ ). C'est en effet ce qu'on observe figure 8 : au niveau du maximum de nitrite il y a minimum relatif de pH et de l'alcalinité des carbonates, alors que généralement dans l'océan pH et alcalinité varient en sens inverse l'un de l'autre avec la profondeur (SKIRROW, 1975). Le minimum d'alcalinité correspondant à un maximum de NO (oxygène corrigé de la respiration), il pourrait tout aussi bien être attribué à l'influence du processus photosynthétique (consommation de  $\text{CO}_2$  et libération de  $\text{O}_2$ ) : mais dans ce cas le pH devrait augmenter.

WADA et HATTORI (1971) dans le Pacifique nord-est ont établi que si dans la couche superficielle (<30 m) il y a production de nitrite par activité phytoplantonique, en revanche dans la couche du maximum de nitrite localisée entre 50 et 80 m l'oxydation d'ammoniaque fournit la contribution majeure à la concentration de nitrite. Pour CALVERT et PRICE (1971) les valeurs élevées de nitrite de surface dans le courant de Benguela peuvent être regardées comme le stade intermédiaire dans l'oxydation de l'azote organique en nitrite via l'ammoniaque. Nos mesures

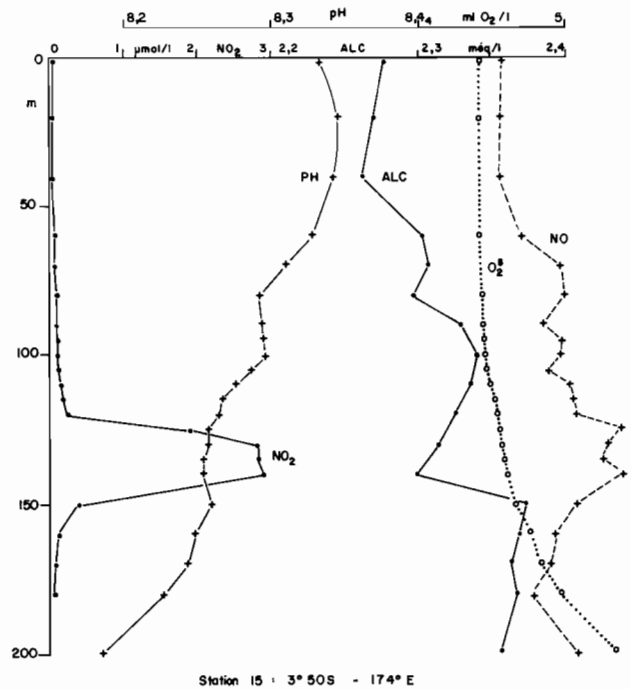


Fig. 8. — Distributions verticales du nitrite, du pH, de l'alcalinité des carbonates, de l'oxygène corrigé de la respiration (NO) comparé à la solubilité ( $\text{O}_2^s$ ) (campagne ÉPONITE 2).

Vertical distributions of nitrite, pH, carbonate alkalinity (ALC), oxygen corrected of respiration (NO) compared to the solubility ( $\text{O}_2^s$ ) (cruise EPONITE 2).

d'azote organique dissous (fig. 9) corroborent ce point de vue : en plus d'un maximum superficiel vers 60 m lié au métabolisme phytoplantonique au sommet de la thermocline, la valeur maximale de N.O.D. est relevée entre les niveaux d'accumulations d'ammoniaque et de nitrite. En dehors de la surface de la mer, la principale source d'ammoniaque est l'excrétion par le zooplancton (SPENCER, 1975), mais l'immobilisation bactérienne de l'azote organique est également une voie possible ; l'azote organique dissous est libéré principalement par le phytoplanton (LE BORGNE, 1977; LE BORGNE, 1978).

La rencontre successive, lorsqu'on s'éloigne de la surface, d'un maximum d'ammoniaque puis d'un maximum de nitrite au-dessus du réservoir de nitrate, ressemble étonnamment au cycle saisonnier de l'azote minéral aux latitudes tempérées (SPENCER, 1975) et au cycle de régénération de l'azote sous les conditions contrôlées des expériences de laboratoire (VACCARO, 1965). D'autre part WADA et HATTORI (1971) lors d'expériences d'incubation à l'obscurité ont établi que l'addition d'ammoniaque stimule la production de nitrite.

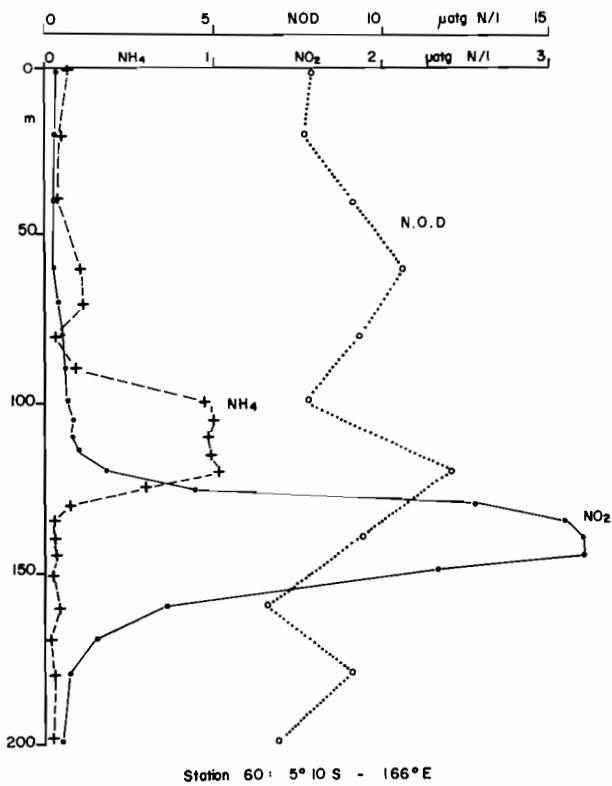


Fig. 9. -- Distributions verticales de nitrite, d'ammoniaque et d'azote organique dissous (campagne ÉPONITE 2).  
Vertical distributions of nitrite, ammonia and dissolved organic nitrogen (cruise EPOINITE 2).

La place du nitrite dans le cycle de régénération de l'azote minéral comparativement à celle de phosphate est clairement mise en évidence sur le diagramme N-P (fig. 5). Lorsqu'on s'enfonce dans la colonne d'eau, phosphate et nitrate augmentent théoriquement dans un rapport constant, voisin de 16 (REDFIELD *et al.*, 1963), par minéralisation de la matière organique. A une certaine profondeur dans notre cas (fig. 5) apparaît une couche où la régénération de nitrate semble stoppée alors que celle de phosphate continue. Le déficit d'azote minéral par rapport au phosphate à ce niveau, se trouve en fait sous forme ammoniacale et nitreuse, stades intermédiaires entre azote organique et nitrate. Cette couche qui devait, en effet, être fortement sursaturée en oxygène au départ de la surface (valeurs élevées en NO) a été vraisemblablement le siège d'une importante production primaire. La quantité accrue de matière organique à ce niveau peut être à l'origine d'une minéralisation moins avancée ou ralentie de l'azote, la matière organique ayant un effet dépressif sur la nitrification (SHARMA et AHLER, 1977).

4. RÉGÉNÉRATION DES SELS NUTRITIFS ET CIRCULATION MÉRIDIENNE

A plusieurs reprises par le passé (OUDOT *et al.*, 1969; OUDOT et WAUTHY, 1976) et dernièrement (OUDOT, 1978 a), le rôle de la circulation méridienne sur la distribution du nitrite en zone tropicale a été souligné. Une hypothèse sur la régénération des sels nutritifs au cours de la circulation méridienne (et zonale) de la production organique de l'upwelling équatorial a été proposée (OUDOT *et al.*, 1972).

Cette hypothèse, repose sur la constatation que, outre la présence de nitrite, les distributions verticales de nitrate et de phosphate, de part et d'autre de l'Équateur, présentent des anomalies par rapport à celles attendues d'un pur mélange physique entre les eaux de surface et de subsurface (OUDOT et WAUTHY, 1976). Les nombreuses inversions dans les distributions verticales de nitrate et de phosphate, sont interprétées comme des étapes plus ou moins avancées de la reminéralisation de la matière organique synthétisée lors de différentes poussées planctoniques. Ainsi, figure 10, le profil vertical de phosphate au voisinage de 100 m présente-t-il des irrégularités : chaque accident de phosphate est l'image d'un maximum relatif d'ammoniaque, indiquant à ce niveau une régénération certaine de sels nutritifs. Sur la même figure le maximum de nitrite correspond à une légère inversion dans les profils de nitrate, de phosphate et d'oxygène dissous ( $\text{O}_2^w$ ) indiquant vraisemblablement un ralentissement de la minéralisation à ce niveau précis).

Le maximum de nitrate et de phosphate immédiatement sous le maximum de nitrite (fig. 10) est de même nature que le renforcement des gradients de nitrate et de phosphate signalé précédemment à proximité du maximum de nitrite (fig. 2 : st. 60) et qui n'est pas relié à un maximum de gradient de densité. Il est logique de penser qu'à ce niveau le nitrite disparaît par transformation en nitrate avec l'avancement de la régénération. A ce sujet on a examiné l'évolution vers l'ouest (dans le sens d'écoulement de la masse d'eau) des sels nutritifs sur le niveau isanostérique 440 cl/t (tabl. I), où la disparition isentropique du nitrite est la plus nette (OUDOT, 1978 a). D'après les résultats du tableau I, pour que l'augmentation de nitrate entre 174° E et 166° E soit compatible avec celle de phosphate, on est conduit à considérer le nitrite comme du nitrate en puissance, c'est-à-dire comme une étape de la nitrification : le rapport  $\frac{\Delta N}{\Delta P} = 11,4$  est en effet plus proche de la valeur 13,4 représentative de la région (fig. 5).

Entre 174° E et 166° E, soit en trois semaines il disparaît 2,1  $\mu\text{mol NO}_2/\text{l}$  (tabl. I), ce qui conduit à estimer approximativement le temps de résidence

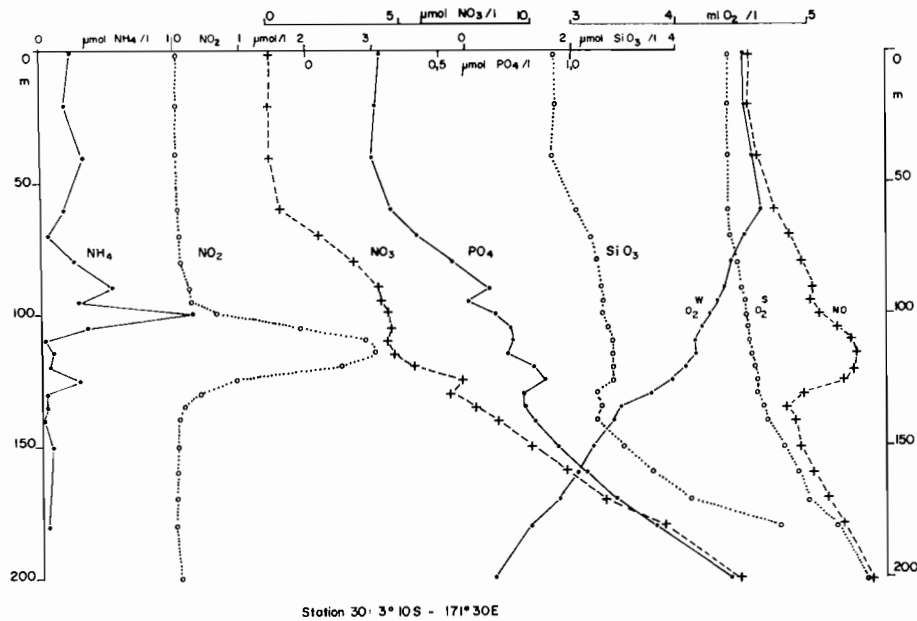


Fig. 10. - Distributions verticales d'ammoniaque, de nitrite, de nitrate, de phosphate, de silicate et d'oxygène (id. fig. 6) (campagne ÉPONITE 2).

Vertical distributions of ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, silicate and oxygen (id. fig. 6) (cruise EPONITE 2).

TABLEAU I

Variation isentropique (440 cl/l) des sels nutritifs et de la salinité

	174° E 5° 30 S	171° 30 E 5° 10 S	169° E 3° 50 S	166° E 3° 50 S
NO <sub>2</sub> (μmol/l).....	3,0	2,2	2,1	0,9
NO <sub>3</sub> (μmol/l).....	1,9	3,1	4,3	6,4
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> (μmol/l)...	4,9	5,3	6,4	7,3
PO <sub>4</sub> (μmol/l).....	0,70	0,76	0,92	0,91
SiO <sub>3</sub> (μmol/l).....	2,5	2,5	2,7	2,8
S (‰).....	35,78	35,91	35,80	35,73
Entre 174° E et 166° E: $\frac{\Delta \text{NO}_3}{\Delta \text{PO}_4} = 21,4$ $\frac{\Delta (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)}{\Delta \text{PO}_4} = 11,4$				

du nitrite au niveau du maximum (3 μmol NO<sub>2</sub>/l) à une trentaine de jours. Cette estimation rejoint les résultats de WADA et HATTORI (1971) dans le Pacifique central nord (23-36 jours) et HATTORI et WADA (1971) dans le Pacifique sud (30 jours). Ce temps de résidence s'entend dans l'hypothèse où le devenir du nitrite est l'oxydation en nitrate. Mais il peut être considérablement raccourci dans le cas où le nitrite est consommé par le phytoplancton lors d'un retour

en surface par le processus d'upwelling (OUDOT et WAUTHY, 1976).

Dans le diagramme azote minéral-phosphate (fig. 5 : st. 60), l'ammoniaque et le nitrite ne corrigent pas exactement le manque d'azote minéral par rapport au phosphate : il y a un léger défaut au niveau du maximum d'ammoniaque et un léger excès au niveau du maximum de nitrite. Le défaut supérieur (de l'ordre de 0,5 μatg N/l) peut être dû à une autre forme d'azote telle que l'urée excrétée en même temps que l'ammoniaque par la communauté pélagique animale (SPENCER, 1975; LE BORGNE, 1977). L'hydroxylamine, stade intermédiaire entre ammoniaque et nitrite (SHARMA et AHLER, 1977), est peu vraisemblable dans un milieu aussi oxygéné (FIADEIRO *et al.*, 1967). Ce pourrait être également une perte d'azote minéral pour la couche correspondante par transfert d'azote organique, plus lent à reminéraliser que le phosphore organique, vers les couches inférieures avec la sédimentation des particules; ce mécanisme expliquerait par la même occasion l'excès d'azote minéral relevé à la base de la couche de nitrite.

La régénération des sels nutritifs dans la zone de convergence implique une source de matière organique à dégrader et à reminéraliser. Cette source ne peut valablement provenir de la production au sein des couches sus-jacentes, car cette zone est la plus pauvre de toute la région (LE BOURHIS et WAUTHY,

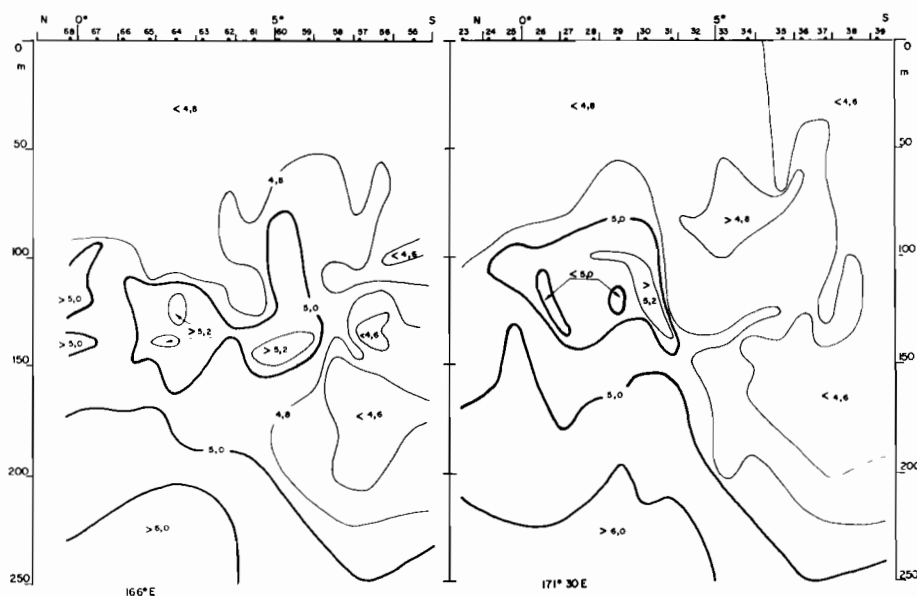


Fig. 11. Distributions verticales de l'oxygène corrigé de la respiration NO (ml/l) le long des méridiens 171° 30 E et 166° E (campagne ÉPONITE 2).

*Vertical distributions of oxygen corrected of respiration NO (ml/l) along the meridians 171° 30 E and 166° E (cruise EPONITE 2).*

1969). Elle doit plutôt être recherchée dans les écosystèmes productifs que sont l'upwelling équatorial et le dôme sud-équatorial (OUDOT et WAUTHY, 1976) qui bordent la zone de convergence au nord et au sud : l'eau profonde ramenée vers la surface par la divergence des eaux de surface reste plus froide et plus salée que les eaux adjacentes et plonge au contact d'une masse plus chaude et moins salée qu'elle, et chemine en subsurface vers le nord et/ou vers le sud. Un argument en faveur de la circulation méridienne de cette masse d'eau de remontée est fourni par l'étude de la distribution verticale de l'oxygène corrigé de la respiration (NO), figurant la teneur initiale de la masse d'eau (OUDOT, 1978 b). L'eau antérieurement remontée, qui présente les valeurs maximales ( $>5$  ml/l) d'oxygène corrigé, peut être suivie assez loin de l'Équateur en subsurface (fig. 11). La masse d'eau d'une résurgence ancienne, repérée entre 100 et 150 m, s'avance vers le sud lorsqu'on se déplace d'est en ouest, à l'instar du noyau maximum de nitrite ( $>3 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ ) (OUDOT, 1978 a) : de 171° 30 E à 166° E le noyau supérieur à  $5,2$  ml  $\text{O}_2/\text{l}$  est déporté de 2 degrés vers le sud, comme le noyau supérieur à  $3 \mu\text{mol NO}_2/\text{l}$ . HISARD et PITON (1969) avaient déjà constaté qu'au niveau de la « poche à nitrite » le gradient vertical d'oxygène est plus faible. Cette diminution du gradient vertical d'oxygène pourrait être la conséquence de l'intrusion à ce niveau d'eau de remontée enrichie en oxygène dissous (OUDOT, 1978 b). Le

passage par l'upwelling équatorial de cette masse d'eau subsuperficielle, où sont relevés des indices de régénération, est confirmé également par un maximum relatif de silicate au niveau de l'accumulation de nitrite (fig. 10) : la seule source de silicate au sud de l'Équateur est l'eau équatoriale de remontée (OUDOT et WAUTHY, 1976).

On admet généralement que les mécanismes contrôlant la distribution des sels nutritifs dans les couches supérieures de l'océan sont principalement la production primaire qui les consomme et les échanges verticaux (advection et diffusion) qui les apportent vers la surface. C'est négliger le processus de régénération qu'on sait pourtant être très rapide pour l'ammoniaque et le phosphate. La régénération d'ammoniaque n'est pas facile à mettre en évidence car l'azote ammoniacal est réutilisé aussitôt par le phytoplancton ou oxydé en nitrite (réaction hautement énergétique) et cette forme d'azote a rarement l'occasion de s'accumuler. La régénération de phosphate est montrée par le décalage entre phosphacline et nitracline (VOITURIEZ et DANDONNEAU, 1974) : à chaque station, à l'image de la figure 2, l'augmentation de phosphate avec la profondeur intervient toujours plus près de la surface que celle de nitrate, alors que la consommation et le flux vertical affectent la distribution de ces deux sels dans un rapport constant. Pendant l'expérience de poursuite de drogue dérivante à l'Équateur (OUDOT *et al.*, 1979) on a estimé la régénération journalière de phosphate

à la base de la couche homogène à 6 % du phosphate présent : en 17 jours environ le stock de phosphate pourrait donc être entièrement reconstitué. La régénération de nitrite et de nitrate dès les couches supérieures de la thermocline est loin d'être négligeable dans le Pacifique tropical sud-ouest. Au niveau de la « poche à nitrite », le nitrite représente le tiers environ de l'azote minéral combiné (fig. 1 A) et peut même dépasser 50 % au niveau des concentrations maximales de nitrite. A la limite sud de la « poche à nitrite », OUDOT et WAUTHY (1976) ont calculé que le nitrate régénéré pouvait constituer 30 à 40 % du nitrate présent. Cette régénération importante des sels nutritifs dans les couches supérieures s'accordent bien avec l'idée de MENZEL (1974) suivant laquelle l'oxydation de la matière organique a lieu principalement dans les 200 premiers mètres. Ces sels nutritifs régénérés ramenés dans la couche euphotique par l'upwelling équatorial ou le dôme sud-équatorial pourront être utilisés lors d'une nouvelle phase de production primaire : LE BORGNE (1977) attribue, en zone équatoriale, à la régénération par les animaux planctoniques la part essentielle dans la fourniture des sels nutritifs nécessaires à la production végétale.

## 5. CONCLUSIONS

L'abondante accumulation de nitrite au creux de la convergence sud équatoriale, jointe à une accumulation plus restreinte d'ammoniaque, constitue un site privilégié de la régénération de l'azote minéral

dans les couches supérieures de la thermocline, en zone tropicale. En effet l'étude de l'environnement du nitrite dans cette région conduit à retenir la nitrification comme l'hypothèse la plus probable de la formation du nitrite :

(1) l'association étroite entre nitrite et nitrate, argument en faveur de l'assimilation phytoplanctonique de nitrate n'est pas vérifiée dans la « poche à nitrite »,

(2) la réduction bactérienne dans une couche presque saturée en oxygène est peu vraisemblable,

(3) la production de nitrite est plus importante que la consommation de nitrate,

(4) la présence du maximum de nitrite dans une couche où la production organique primaire a été relativement élevée, intercalé entre des fortes concentrations d'ammoniaque et un renforcement du gradient de nitrate, suggère fortement qu'on assiste là à la décomposition en étapes successives de la régénération de l'azote minéral.

Un temps de résidence relativement court (une trentaine de jours) joint à une représentation importante du nitrite dans l'azote minéral combiné (30 à 40 %) soulignent le rôle de la régénération sur la distribution des sels nutritifs en zone équatoriale et suggèrent l'importance probable de la production de régénération dans l'évaluation de la production organique primaire des écosystèmes équatoriaux (upwelling-dôme).

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.,  
le 27 juillet 1979*

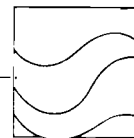


## BIBLIOGRAPHIE

- BRANDIOSRT (W.), 1959. — Nitrification and denitrification in the eastern tropical north Pacific. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, vol. 25 : 3-20.
- CALVERT (S. E. & PRICE (N. B.), 1971. — Upwelling and nutrient regeneration in the Benguela Current (october 1968). *Deep Sea Res.*, vol. 18 : 505-523.
- CARLUCCI (A. F. & Mc NALLY (P. M.), 1969. — Nitrification by marine bacteria in low concentrations of substrats and oxygen. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 14 : 736-739.
- CARLUCCI (A. F. & SCHUBERT (H. R.), 1969. — Nitrate reduction in sea water of the deep nitrite maximum off Peru. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 14 : 187-193.
- CARLUCCI (A. F., HARTWIG (E. O.) et BOWES (P. M.), 1970. — Biological production of nitrite in sea water. *Mar. Biol.*, vol. 7 : 161-166.
- CODISPOTI (L. A. & RICHARDS (F. A.), 1976. — An analysis of the horizontal regime of denitrification in the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 21 : 379-388.
- DUGDALE (R. C., GOERING (J. J.), BARBER (R. T.), SMITH (R. L.) & PACKARD (T. T.), 1977. — Denitrification and hydrogen sulfide in the Peru upwelling region during 1976. *Deep Sea Res.*, vol. 24 : 601-608.
- FIADDEIRO (M., SOLORZANO (L.) & STRICKLAND (J. D. H.), 1967. — Hydroxylamine in sea water. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 12 : 555-556.
- FIADDEIRO (M.) & STRICKLAND (J. D. H.), 1968. — Nitrate reduction and the occurrence of a deep nitrite maximum in the ocean off the west coast of South America. *J. Mar. Res.*, vol. 26 : 187-201.
- GOERING (J. J.), 1968. — Denitrification in the oxygen minimum layer of the eastern tropical Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, vol. 15 : 157-168.
- GOERING (J. J.) & DUGDALE (R. C.), 1966. — Denitrification rates in an island bay in the equatorial Pacific ocean. *Science, N.Y.*, vol. 154 : 505-506.
- GOERING (J. J. & CLINE (J. D.), 1970. — A note on denitrification in sea water. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 15 : 306-309.
- HAMILTON (R. D.), 1964. — Photochemical processes in the inorganic nitrogen cycle of the sea. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 9 : 107-111.
- HATTORI (A. & WADA (E.), 1971. — Nitrite distribution and its regulating processes in the equatorial Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, vol. 18 : 557-568.
- HERBLAND (A. & VOITURIEZ (B.), 1977. — Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. I. Distribution du nitrate et production primaire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 1 : 47-56.
- HISARD (Ph. & PITON (B.), 1969. — La distribution du nitrite dans le système des courants équatoriaux de l'Océan Pacifique. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, vol. 32 : 303-317.
- KIEFER (D. A., OLSON (R. I.) & HOLM-HANSEN (O.), 1976. — Another look at the nitrite and chlorophyll maxima in the central north Pacific. *Deep Sea Res.*, vol. 23 : 1199-1208.
- LE BORGNE (R. P.), 1977. — Étude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4° W. — III. Respiration et excrétion d'azote et de phosphore du zooplancton. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 4 : 349-362.
- LE BORGNE (R. P.) 1978. — Ammonium formation in Cape Timiris (Mauritania) upwelling. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, vol. 31 : 253-265.
- LE BOURHIS (J. & WAUTHY (B.), 1969. — Quelques aspects de la distribution de la production primaire le long du méridien 170° E entre 20° S et 5° N. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. VII, n° 4 : 83-93.
- MENZEL (D. W.), 1974. — Primary productivity, dissolved and particulate organic matter, and the sites of oxydation of organic matter. In *The Sea*, vol. 5, E. D. Goldberg, ed. Wiley Interscience, New York : 659-678.
- MIYAKE (Y. & WADA (E.), 1968. — The nitrogen cycle in the sea. *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, vol. 9 : 197-208.
- MIYAZAKI (T., WADA (E.) et HATTORI (A.), 1975. — Nitrite production from ammonia and nitrate in the euphotic layer of the western North Pacific Ocean. *Mar. Sci. Commun.*, vol. 1 : 381-394.
- OUDOT (C.), 1978 a. — Continuité zonale et circulation méridienne du maximum de nitrite dans le Pacifique équatorial sud-ouest. I — Description de l'évolution spatiale du maximum de nitrite dans le contexte hydrologique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XVI, n° 3-4 : 349-361.
- OUDOT (C.), 1978 b. — Intérêt du concept NO (oxygène corrigé de la respiration), pour l'étude de l'écosystème de l'upwelling équatorial. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XVI, n° 2 : 191-199.

- OUDOT (C.), HISARD (Ph.) & VOITURIEZ (B.), 1969. — Nitrite et circulation méridienne à l'Équateur dans l'Océan Pacifique occidental. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. VII : 67-82.
- OUDOT (C.), RUAL (P.) & WAUTHY (B.), 1972. — Mineralization south of the Equator in relation to equatorial fertility. *International Symposium on Oceanography of the South Pacific*, 1972, Wellington, New Zealand, 524 p.
- OUDOT (C.) & WAUTHY (B.), 1976. — Upwelling et dôme dans le Pacifique tropical occidental : distributions physico-chimique et biomasse végétale. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XIV, n° 1 : 27-48.
- OUDOT (C.), RUAL (P.) & WAUTHY (B.), 1979. — Upwelling équatorial du Pacifique Ouest : distributions physico-chimiques et biomasse végétale durant une poursuite de drogue dérivante. *Cah. Indo-Pacifique*, vol. 1 : 39-82.
- RAKESTRAW (N. W.) & HOLLAENDER (A.), 1936. — The photochemical oxydation of ammonia in sea water. *J. Phys. Chem.*, vol. 42 : 1211-1215.
- REDFIELD (A. C.), KETCHUM (B. H.) & RICHARDS (F. A.), 1963. — The influence of organisms on the composition of sea water. In *The Sea*, vol. 2., M. N. Hill, ed. Wiley Interscience New York : 26-77.
- SHARMA (B.) & AHLER (R. C.), 1977. — Nitrification and nitrogen removal. *Wal. Res.*, vol. 11 : 897-925.
- SKIRROW (G.), 1975. — The dissolved gases: carbon dioxide. In *Chemical Oceanography* 2nd edition, vol. 2, J. P. Riley and G. Skirrow, Ed. Academic Press, New York : 1-192.
- SPENCER (C. P.), 1975. — The micronutrient elements. In *Chemical Oceanography* 2nd edition, vol. 2, J. P. Riley and G. Skirrow, Ed. Academic Press, New York : 245-300.
- THOMAS (W. H.), 1966. — On denitrification in the north eastern tropical Pacific ocean. *Deep Sea Res.*, vol. 13 : 1109-1114.
- VACCARO (R. F.), 1962. — The oxydation of ammonia in sea water. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, vol. 17 : 3-14.
- VACCARO (R. F.), 1965. — Inorganic nitrogen in sea water. In *Chemical Oceanography*, vol. 1, J. P. Riley and G. Skirrow, Ed. Academic Press, London : 356-408.
- VACCARO (R. F.) & RYTHER (J. H.), 1960. — Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, vol. 25 : 260-271.
- VOITURIEZ (B.) & DANDONNEAU (Y.), 1974. — Relation entre la structure thermique, production primaire et la régénération des sels nutritifs dans le dôme de Guinée. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XII, n° 4 : 241-255.
- VOITURIEZ (B.) et HERBLAND (A.), 1977 a. — Observation d'un maximum secondaire de nitrite dans l'Atlantique tropical (Dôme de Guinée). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 1 : 39-46.
- VOITURIEZ (B.) & HERBLAND (A.), 1977 b. — Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. II — Distribution du nitrate et production du nitrite. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XV, n° 1 : 57-65.
- WADA (E.) & HATTORI (A.), 1971. — Nitrite metabolism in the euphotic layer of the central north Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 16 : 766-772.
- WADA (E.) & HATTORI (A.), 1972. — Nitrite distribution and nitrate reduction in deep sea water. *Deep Sea Res.*, vol. 19 : 123-132.
- WOOSTER (W. S.), 1967. — Further observations in the secondary nitrite maximum in the northern equatorial Pacific. *J. Mar. Res.*, vol. 25 : 154-161.
- WOOSTER (W. S.), CHOW (T. J.) & BARRETT (I.), 1965. — Nitrite distribution in Peru current waters. *J. Mar. Res.*, vol. 23 : 210-221.





# Le zooplancton du plateau continental ivoirien. Essai de synthèse écologique

Zooplankton  
Migrations verticales  
Cycles biologiques  
Biomasse  
Zooplankton  
Vertical migrations  
Life cycle  
Biomass

D. Binet

Centre ORSTOM, BP n° A5, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie.

Reçu le 26/12/78, révisé le 11/5/79, accepté le 25/5/79.

## RÉSUMÉ

La plupart des taxons sont pérennes, leur abondance maximale se situe à la fin de la saison froide, lorsque les enrichissements des crues succèdent à ceux des upwellings. Beaucoup d'espèces océaniques sont amenées au-dessus du plateau par les remontées d'eaux, mais ne s'y développent pas. Tandis que certaines espèces, comme *Calanoides carinatus*, venues de profondeurs importantes colonisent rapidement les eaux néritiques. On observe quelques espèces très thermophiles, peu abondantes, uniquement pendant la saison chaude (*Undinula vulgaris*, *Farranula gracilis*...).

Toutes ces espèces se reproduisent continuellement quand elles sont présentes au-dessus du plateau. Les cohortes de quelques espèces de Copépodes vivent de 2 à 4 semaines. Tandis que les C 5 de *C. carinatus* qui passent les 9 mois de saison chaude en profondeur ne se reproduisent pas avant que le déclenchement des upwellings n'ait déterminé leur remontée dans les eaux néritiques.

La plupart des espèces ont une migration verticale saisonnière : proches de la surface en saison froide, elles s'enfoncent sous la thermocline en saison chaude. Il existe également une migration ontogénique qui se traduit en général par un enfoncement au fur et à mesure du développement. Ces comportements sont comparés aux répartitions verticales du phytoplancton et des courants. Quelques stratégies trophiques et démographiques, fondées sur la migration ontogénique sont rattachées à la théorie des sélections *r*- et *K*-. L'étude des variations saisonnières et annuelles des peuplements par des analyses multi-variables montre que les principaux facteurs écologiques sont les différents types d'enrichissement du milieu (résurgences et crues) et les modes de production primaire (nouvelle ou de régénération).

Ceci permet de rendre compte de quelques caractéristiques de la répartition spatio-temporelle : au cours d'une saison froide, le déplacement horizontal du maximum de biomasse s'interprète par le jeu de la migration ontogénique au sein de deux courants opposés. D'une année à l'autre les variations de la biomasse peuvent être expliqués par les fluctuations des apports profonds et terrigènes.

*Oceanol. Acta*, 1979, 2, 4, 397-410.

## ABSTRACT

Shelf zooplankton of the Ivory Coast:  
a tentative ecological synthesis

Superficial tropical water spreads out over the Ivory Coast shelf during the warm season. Seasonal upwellings result in low enrichment during the "little" cool season and high enrichment during the main cool season. Rains and floods, which carry terrestrial nutrients, lower the salinity of neritic waters at the beginning and at the end of the main cool season. The superficial layer flows eastwards (Guinea current), the bottom layer westwards (Ivory Coast undercurrent).

Most taxons are perennial; their maximum abundance occurs at the end of the cool season, when flooding enrichment follows the enrichment caused by upwellings. Upwellings carry many offshore species which cannot survive in coastal waters. Others, however, including *Calanoides carinatus*, which has spent the warm season at depths of more than 500 m quickly develop in the neritic waters. Some thermophilic species appear in small quantities, only during the warm season (*Undinula vulgaris*, *Farranula gracilis*...). All these species breed continuously when they are over the shelf, the life span of certain Copepod cohorts varying between 15 and 27 days, with an average of 19 days. On the other hand, the C5 of *C. carinatus* which spend the 9 months of summer in the depths, do not breed before the onset of upwelling has induced their upward migration to neritic waters.

Most species exhibit seasonal vertical migrations. During the cool season, primary production is very high in the superficial layers, where the biomass is also at a maximum. During the warm season, the bulk of primary production occurs at the thermocline depth, which limits the upward vertical range of most species. Ontogenetic migrations have been observed: as a general rule, the first Copepodit stages inhabit the superficial layers, while the later stages lie at greater depths. This behaviour is compared with the vertical distribution of phytoplankton and currents. Trophic and demographic strategies based on the presence or absence of ontogenetic migration are discussed in terms of the *r*- and *K*-selection concepts.

Multivariate analysis of seasonal and annual variations shows that the main ecological factors are the different modes of enrichment (upwellings, river floods) and of primary production (new or regenerated).

The main patterns of spatio-temporal biomass distribution may thus be described as follows: during the cool season, a horizontal drift of the maximum of biomass occurs as the result of ontogenetic migration between two currents flowing in opposite directions. During the warm season, a downward, offshore movement of the biomass may be compared with the sinking of the thermocline. Variations of upwellings and river flooding must be taken into account when analysing zooplankton biomass fluctuations observed at the coastal station between 1969 and 1977.

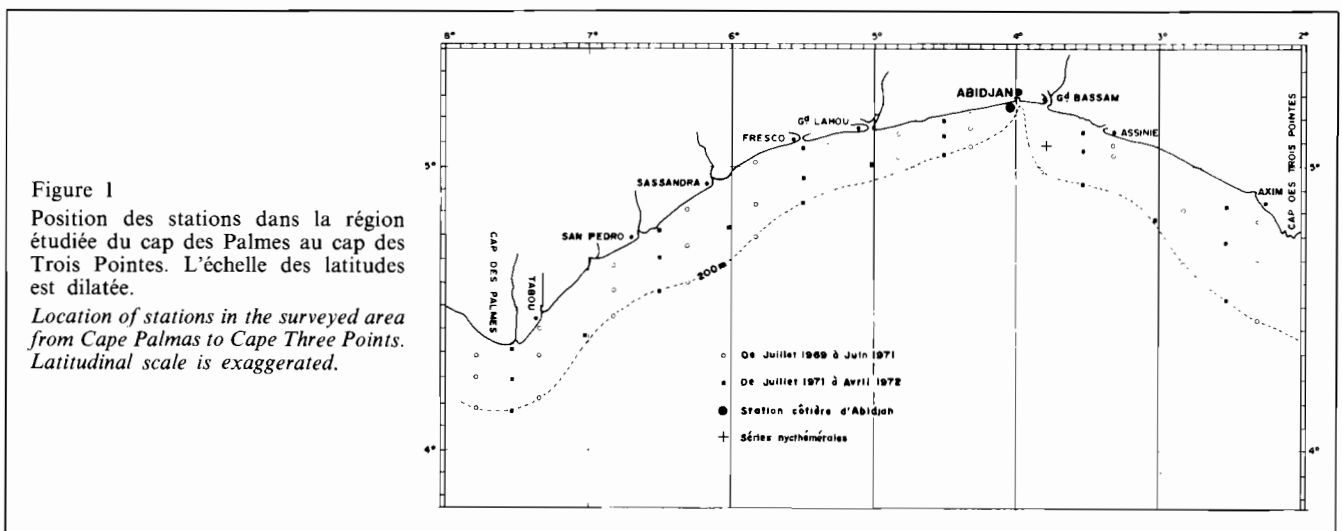
*Oceanol. Acta*, 1979, 2, 4, 397-410.

Cet article est le bilan d'un travail (Binet, 1977 c) mené de 1969 à 1975 dans le cadre du Projet de Développement de la Pêche Pélagique Côtière (FAO/PNUD/Côte-d'Ivoire), puis du Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan (ORSTOM/Côte-d'Ivoire).

La plupart des 2000 récoltes étudiées se répartissent entre : une station côtière près d'Abidjan, visitée depuis 1969, d'abord une fois, puis deux fois par semaine; 28 campagnes échelonnées de juillet 1969 à avril 1972, qui se sont déroulées sur le plateau continental du

Cap des Palmes au Cap des Trois Pointes; quatre sorties destinées à mettre en évidence les migrations verticales circadiennes en un point (cf. fig. 1).

L'étude des cycles biologiques de quelques espèces, la définition des grands peuplements et l'analyse des variations de la biomasse zooplanctonique à la lumière des connaissances disponibles sur le milieu permettront d'élaborer quelques schémas explicatifs rendant compte des observations réalisées.



LE MILIEU

Le littoral ivoirien connaît deux saisons des pluies (juin et septembre) tandis qu'il n'y a qu'une seule saison des pluies sur le nord du pays (août). Les fleuves côtiers ont donc deux crues (juin-juillet et octobre) tandis qu'à leur embouchure, les grands fleuves venant du Sahel (Bandama et Comoé notamment) n'en ont qu'une seule (septembre-octobre) (Avenard *et al.*, 1971).

Morlière (1970) puis Morlière et Rebert (1972) ont décrit un cycle hydrologique à quatre saisons, auquel il convient d'ajouter les périodes de crue des fleuves et lagunes (cf. tableau). On observe de janvier à mai, plus particulièrement de mars à mai, l'eau tropicale superficielle, chaude et relativement salée : c'est la grande saison chaude, période de stabilité hydrologique.

En juin, il se produit dans l'ouest du golfe ivoirien des upwellings dont les eaux dérivent progressivement dans toute la région. Mélangée aux eaux douces des fleuves côtiers et des lagunes en crue, l'eau subtropicale remontée de la thermocline forme une eau froide et dessalée aux embouchures : c'est la première saison de décharge.

Mais dès fin juillet, les remontées d'eau froide se produisent tout le long du littoral ivoirien et se maintiennent jusqu'en septembre. Les apports d'eau douce diminuent : c'est la grande saison froide. La thermocline disparaît pratiquement.

A partir de septembre et jusque fin octobre, la crue principale de tous les fleuves se produit : c'est la seconde saison de décharge.

La couche superficielle est progressivement dessalée et se réchauffe dès octobre. L'apport des fleuves ivoiriens est relayé en novembre-décembre par les masses d'eau guinéennes chaudes et dessalées (Berrit, 1966). Elles atteignent leur plus grande extension après les saisons des pluies (novembre-décembre) et occupent le golfe ivoirien sur une grande épaisseur : c'est la petite saison chaude.

En janvier et février quelques remontées d'eaux se produisent, surtout dans la région occidentale. Bien qu'intermittentes, elles entraînent une remontée de la thermocline : c'est la petite saison froide, qui interrompt sporadiquement l'établissement de la grande saison chaude.

De façon générale, la couche superficielle dérive vers l'est (courant de Guinée), la couche profonde vers l'ouest (sous-courant ivoirien). Des variations saisonnières importantes, plus ou moins régulières, se produisent dans l'épaisseur, la vitesse et la distance à la côte du noyau de ces deux courants (Lemasson, Rebert, 1973).

Pendant la période de transition (juin-juillet), la vitesse du courant de Guinée est maximale (1,4 kn) et son épaisseur atteint 20 m. En grande saison froide (juillet à septembre) les vitesses diminuent (0,5 et 0,8 kn pour les courants superficiels et subsuperficiels). L'épaisseur du courant de Guinée n'est plus que de 10 m. Enfin, en octobre, le courant de Guinée est repoussé au large, le transport vers l'est des eaux d'upwelling s'annule; le contre-courant apparaît en surface.

Tableau : Récapitulatif des principaux éléments de l'hydroclimat. *Recapitulation of the hydroclimate main components.*

	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Précipitations			Saison sèche dans le Sud, fortes pluies dans le Nord	Petite saison des pluies dans le Sud				Saison sèche				« Tornades »
Hydrographie	Grande saison des pluies dans le Sud	Crues des fleuves côtiers	Crues de tous les fleuves					Étiage				
Upwellings	++	+++	+++	++	+	+		++	++	+	+	
Dessalure	++	+										
Masse d'eau en surface	Froide et dessalée	Froide et salée				Chaude et dessalée		Chaude et salée parfois froide et salée	Chaude et salée			Chaude et salée
Saisons hydrologiques (écologiques)		(SD 1)		GSF	(SD 2)		PSC	PSF			GSC	
Courant de Guinée :												
hauteur (m)		20		10	Repoussé au large	20			15			30
vitesse (kn)		1,4		0,5	En surface	0,5			0,4 irrégulier			1
Sous-courant ivoirien (kn)		Proche de la côte : 0,8	Loin de la côte : 0,8			Talus : 0,5						Repoussé au large
Production primaire nouvelle	+	+	+++	+++	+++	+		+	+	+	+	+
Production primaire de régénération	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+

GSF, PSF, grande et petite saison froide. GSC, PSC, grande et petite saison chaude. SD 1, SD 2, première et seconde saison de décharge.

Des ondes internes dues à la marée ont récemment été mises en évidence à proximité d'Abidjan (Park, 1977). Ces ondes sont particulièrement sensibles au niveau de la thermocline qui peut monter ou descendre d'une dizaine de mètres en quelques heures.

La production primaire dépend directement des apports en sels nutritifs dans la couche superficielle (Dandonneau, 1973). Cette production est maximale lorsque les crues déversent dans les eaux côtières des matériaux terrigènes, ou lorsque des eaux profondes remontent en surface. Au contraire elle est faible pendant les périodes stables où une couche homogène se développe, c'est essentiellement une production de régénération.

## CYCLES BIOLOGIQUES, RÉPARTITIONS VERTICALES ET IMPLICATIONS BIOLOGIQUES

### Variations saisonnières

Les variations d'abondance suivies à la station côtière pendant deux périodes d'une année, montrent que la plupart des espèces sont pérennes (Binet, 1977 a et b, 1978). Cependant leur abondance n'est pas constante et le maximum se situe en fin de grande saison froide et lors de la seconde saison de décharge (septembre-octobre). *Temora turbinata* et *Centropages chierchiae* sont les Copépodes les plus caractéristiques de ce comportement; en outre ce type de variations saisonnières est celui de la plupart des taxons : Chaetognathes, Doliolles, *Penilia avirostris*, etc.

Il existe quelques exceptions; le maximum d'abondance de deux Copépodes pérennes : *Paracalanus parvus* et *P. scotti* se situe en juin-juillet, lors de la première saison de décharge.

Les Copépodes les plus thermophiles : *Undinula vulgaris*, *Paracalanus aculeatus*, *Clausocalanus furcatus*, *Oncaea media*, *Farranula gracilis* ne sont jamais très abondants en saison chaude, mais ils disparaissent totalement des eaux néritiques pendant la saison froide.

Les larves de Crustacés décapodes ont, de même que *Lucifer faxonii*, une plus grande abondance durant les périodes chaudes. Cependant, leurs effectifs ne sont maximaux que lorsque de légers enrichissements se produisent, sans entraîner de refroidissement trop important : petite saison froide, première et seconde saison de décharge.

Enfin, certaines espèces ne sont présentes au-dessus du plateau que pendant la saison froide. Elles apparaissent avec les premières remontées d'eaux. Les unes (*Euaetideus giesbrechti*, *Paivella inaciae*, *Scolecithricella* spp., *Haloptilus* spp., *Heterorhabdus papilliger*) sont récoltées en petit nombre, juste après un upwelling et disparaissent ensuite : elles proviennent des eaux infrathermoclineales des premiers milles au large du plateau et ne subsistent pas en milieu néritique. Les autres (*Calanoides carinatus*, *Eucalanus monachus*), bien que venues de profondeurs supérieures à 500 m, sont capables de se développer rapidement et d'envahir tout le plateau, où elles comptent

parmi les espèces les plus importantes en grande saison froide.

### Cycles biologiques

L'ensemble des individus qui accomplissent leur cycle simultanément, de l'éclosion à la reproduction, constitue une « génération ». En milieu tropical les générations se succèdent plus rapidement que dans les eaux tempérées et il n'est pas certain que les individus issus d'une même ponte restent en phase. Il paraît plus sûr de s'en tenir à l'identification des cohortes : l'ensemble des individus issus d'une même période de ponte. S'il n'y a qu'une seule ponte par génération, chaque cohorte correspond à une génération, mais il n'en est pas toujours ainsi.

Lorsqu'une espèce est présente au-dessus du plateau, on la trouve en général à tous les stades de développement, indice d'une reproduction récente et de l'absence de phase de repos génital. Ce qui complique l'étude des cycles.

Durant 14 mois nous avons dénombré les cohortes à la station côtière d'Abidjan (Binet, 1977 b) en suivant les variations d'effectifs et de pourcentages des différents stades.

Les durées de vie des cohortes de *Calanus minor*, *Undinula vulgaris*, *Eucalanus pileatus*, *Centropages furcatus*, *C. chierchiae*, *Temora turbinata*, *T. stylifera*, *Oncaea venusta*, *Ditrichocorycaeus africanus*, *Farranula gracilis* seraient en moyenne comprises entre 17,5 et 21,2 jours. Les écarts maximaux observés allant de 15 à 27 jours.

Cependant les maxima des différents stades apparaissent souvent simultanément dans une récolte et l'on n'observe pas toujours un glissement du maximum d'un stade au suivant, au cours du temps, glissement qui prouverait réellement le passage d'une cohorte. On peut alors être tenté de voir dans ces pics simultanés la marque de l'hétérogénéité spatiale bien connue des répartitions planctoniques; les individus d'une même espèce se reproduiraient sans synchronisation et il n'y aurait aucune possibilité de séparer des cohortes.

Cette hypothèse ne nous semble pas devoir être retenue car s'il en était ainsi le pourcentage des différents stades devrait évoluer de façon aléatoire d'une récolte à l'autre et indépendamment des variations d'effectifs. Or il varie généralement de façon synchrone avec les fluctuations d'effectifs (Binet, 1977 b). D'autre part, les intervalles entre cohortes (ou générations) que nous trouvons chez les espèces ivoiriennes, coïncident avec les observations dans la région de Pointe-Noire sur *Eucalanus pileatus* (17,7 jours : Dessier, comm. pers.) et sur *Calanoides carinatus* (22 jours : Petit, Courties, 1976). Enfin les élevages pratiqués à des températures élevées et dans des conditions trophiques optimales aboutissent à des durées de vie semblables à celles que nous trouvons (Haq, 1972; Uye, Onbe, 1975; Gibson, Grice, 1976).

### Migrations verticales

Quelques séries de récoltes circadiennes ont été effectuées au cours de diverses saisons : septembre et décembre 1971,

juin 1972, mai 1973. Elles ont montré que les zooplanktontes se livrent à des déplacements verticaux que l'on peut classer selon leur périodicité.

On peut observer différents types de migrations nycthémerales selon que les concentrations maximales sont observées dans les eaux superficielles au milieu de la nuit, au début ou à la fin de la nuit ou durant la journée (Binet, 1977 a, 1978). Il est néanmoins possible que les déplacements de masse d'eau engendrés par les ondes internes interfèrent avec les migrations nycthémerales réelles.

Au contraire, le calcul, à quatre profondeurs différentes, de l'effectif moyen de neuf récoltes réparties sur 24 heures annule une éventuelle influence d'ondes de marées et fait clairement apparaître des migrations saisonnières : la plupart des taxons occupent des niveaux superficiels au cours des saisons froides et s'enfoncent sous la thermocline pendant la saison chaude (Binet, 1977 a). Les seules exceptions à ce schéma viennent des espèces les plus thermophiles : larves de Brachyours, Copépodes *Undinula vulgaris* et *Farranula gracilis*, qui restent dans la couche superficielle quand elle est la plus chaude.

Cette migration limite l'élévation de température à subir et par conséquent la dépense énergétique qu'elle entraîne. Elle permet également le maintien au niveau de la production primaire maximale : en saison froide la production nouvelle se tient dans les couches superficielles, en saison chaude la production de régénération se tient au niveau de la thermocline.

Il existe encore un type de migration verticale, celui

qui concerne les diverses phases de l'existence d'un même individu. On met en évidence cette migration ontogénique en comparant les répartitions verticales moyennes sur 24 heures des différents stades de développement (fig. 2). Courante chez nombre de Copépodes, elle a également été observée chez *Lucifer faxonii* (Binet, 1977 a). La migration est généralement descendante; les stades âgés vivent plus profond que les jeunes. On n'observe qu'une seule exception : *Euchaeta paraconcinna*, en saison froide effectue une migration ascendante. En saison chaude la thermocline limite vers le bas la migration d'une espèce thermophile (*Undinula vulgaris*) et vers le haut la migration d'une espèce pérenne (*Euchaeta paraconcinna*).

Dans un système de deux courants superposés, on conçoit l'importance de cette migration sur la répartition spatiale. Dans le cas d'une migration descendante, les stades jeunes dérivent dans le courant de Guinée, les stades âgés dans le sous-courant. Donc selon les fluctuations de vitesse et d'épaisseur des deux courants et selon les modalités de la migration ontogénique, la population subira en moyenne un transport est, ouest ou bien restera dans le golfe ivoirien.

L'exemple de *Calanoides carinatus* en est une illustration (Binet, Suisse de Sainte-Claire, 1975). En saison froide, la migration ontogénique dans les eaux néritiques est descendante, un peu plus prononcée que pour *Eucalanus pileatus* (fig. 2). Au cours des saisons froides 1969 et 1971 les campagnes mensuelles ont permis de suivre le déplacement de la population.

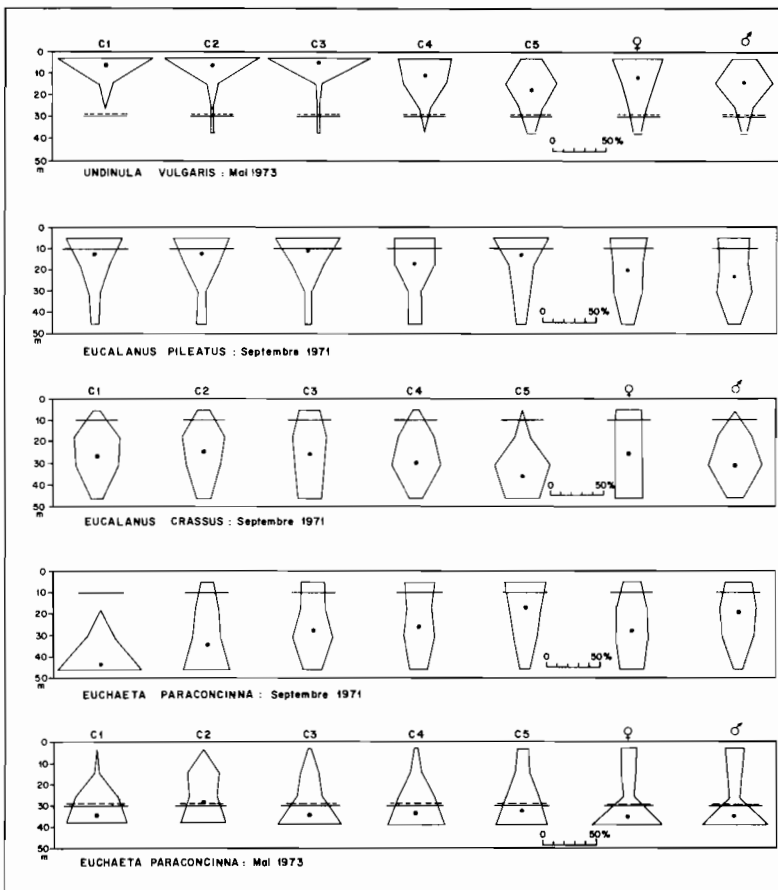


Figure 2

Migrations ontogéniques de quelques espèces : a) migration descendante d'une espèce thermophile en saison chaude, la quasi-totalité des individus sont au-dessus de la thermocline dans le courant de Guinée; b) migration descendante en saison froide, la répartition verticale chevauche les deux courants; c) migration descendante en saison froide, la quasi-totalité de l'espèce est située dans le sous-courant; d) migration ascendante en saison froide; e) absence de migrations en saison chaude, la plupart des individus sont au-dessous de la thermocline, dans le sous-courant. Trait horizontal plein, limite du courant de Guinée et du sous-courant; trait horizontal tireté, isotherme 24°C; cercle noir, médiane de répartition verticale de chaque stade. D'après Binet (1977 b).

Ontogenetic migrations of several species : a) downward migration of a thermophilic species during the warm season; almost all the individuals are above the thermocline in the Guinea current; b) downward migration during the cold season; the population inhabits the two currents; c) downward migration during the cold season; the population is situated almost entirely in the undercurrent; d) upward migration during the cold season; e) absence of migration during the warm season; the majority of the individuals are below the thermocline, in the undercurrent. Horizontal solid line, boundary of Guinea current and Ivory Coast undercurrent; horizontal dashed line, 24°C isotherm; Black dots, median of vertical distribution of each stage.



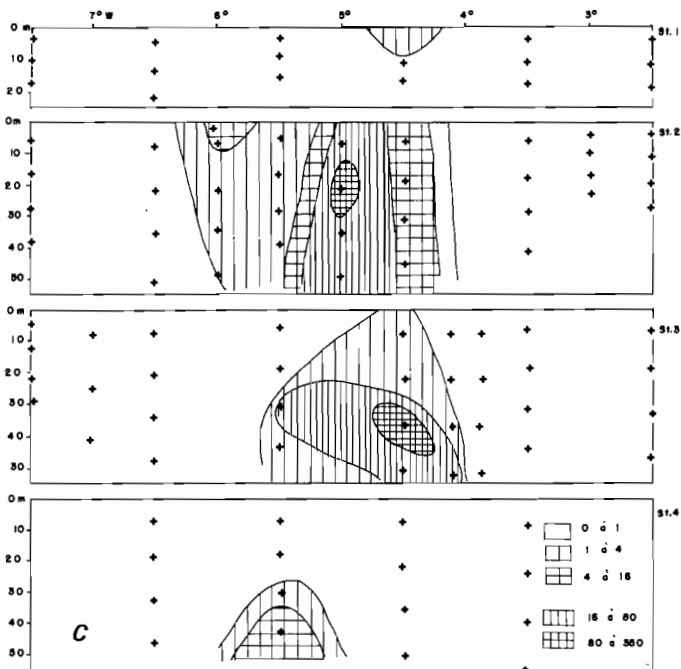
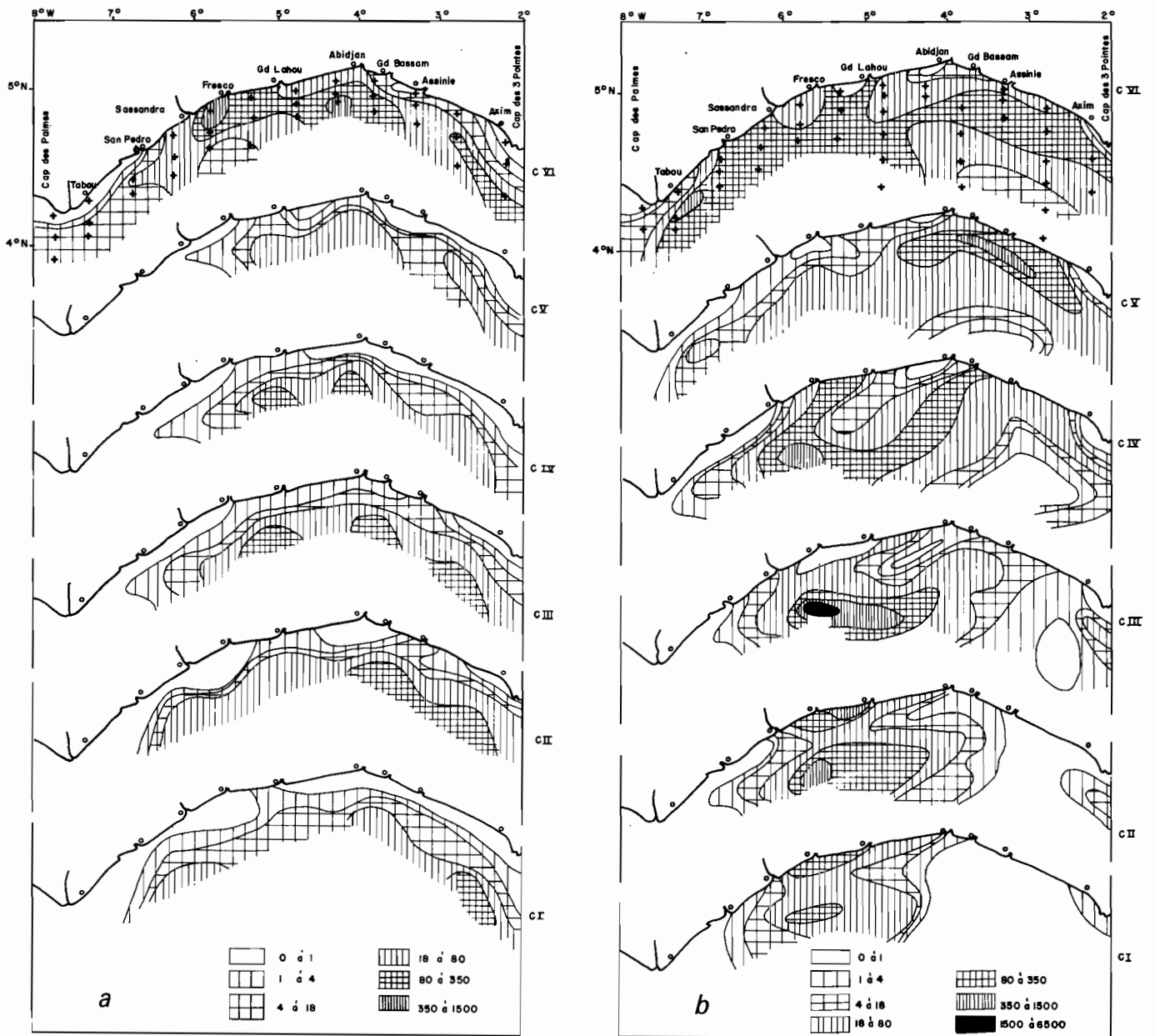


Figure 3

a) Répartition des stades copépodites de *C. carinatus* fin juillet 1969 ( $N/m^3$ ) : le courant de Guinée est épais et rapide et la dérive vers l'est est importante au cours du développement des C 1 aux C 5. D'après Binet et Suisse de Sainte-Claire (1975).

a) Distribution of the Copepodid stages of *C. carinatus* in late July 1966 ( $N/m^3$ ) : the Guinea current is thick and fast-moving, and an important eastward drift occurs during development from stages C 1 to C 5.

b) Répartition des stades copépodites de *C. carinatus* en août 1969 ( $N/m^3$ ) : le courant de Guinée est moins épais et moins rapide. Les stades âgés pénètrent dans le sous-courant et peuvent coloniser l'ouest du golfe ivoirien. D'après Binet et Suisse de Sainte-Claire (1975).

b) Distribution of the Copepodid stages of *C. carinatus* in August 1969 ( $N/m^3$ ). The Guinea current is less thick and fast-moving. The later stages enter the undercurrent and may colonize the western area.

c) Répartition verticale des C 5 de *C. carinatus* le long de quatre coupes parallèles à la côte fin novembre 1971 ( $N/m^3$ ). Stations 1 : fonds de 20 m ; stations 2 : fonds de 60 m ; stations 3 : fonds de 200 m ; stations 4 : 5 milles au large du talus. On voit un enfoncement vers le proche large. D'après Binet et Suisse de Sainte-Claire (1975).

c) Vertical distribution of C 5 of *C. carinatus* along four vertical sections parallel to the coastline in late November 1971 ( $N/m^3$ ). Stations 1 : depth of 20 m, stations 2 : depth of 60 m, stations 3 : depth of 200 m, stations 4 : 5 nm off the edge of the continental shelf. Offshore sinking is apparent.

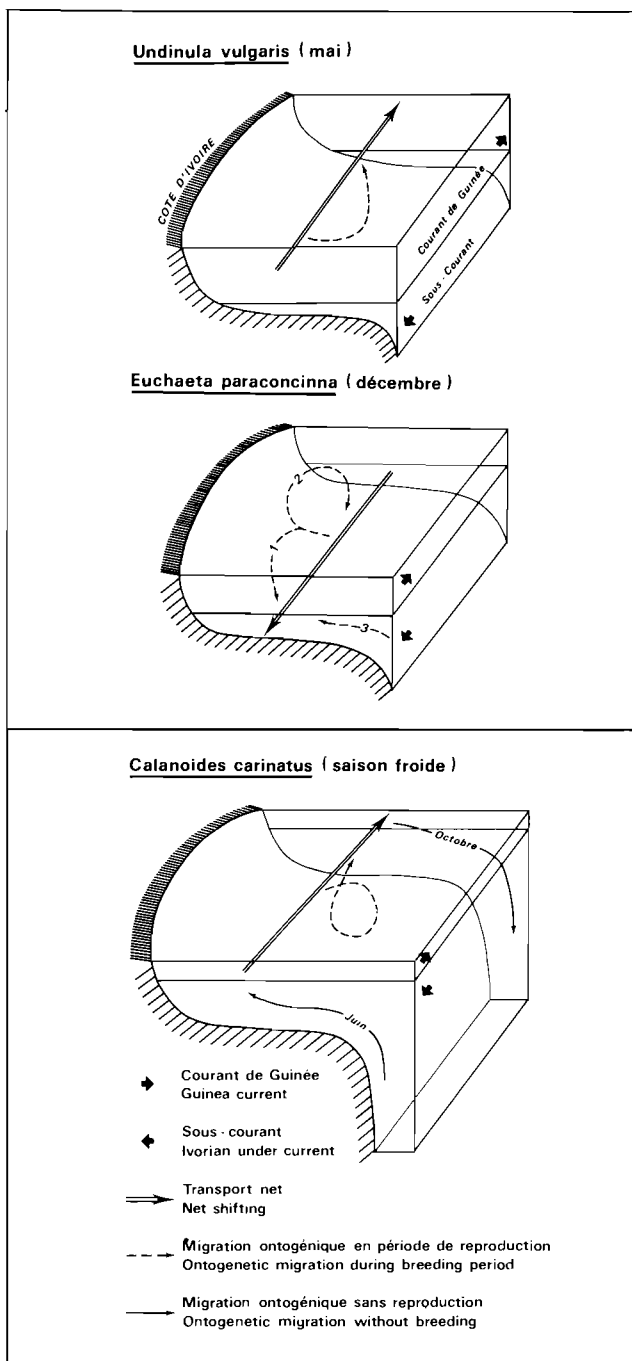


Figure 4

Diagramme montrant le rôle des migrations ontogéniques dans le transport de quelques espèces à différentes saisons. *Undinula vulgaris* (migration descendante) : les copépodites au cours de leur développement ne descendent pas au-dessous du courant de Guinée : transport vers l'est; *Euchaeta paraconcinna* (migration ascendante) : si les copépodites restent dans la couche inférieure le transport se fait vers l'ouest; mais si les copépodites âgés atteignent la couche superficielle le mouvement net est ralenti; *Calanoides carinatus* (migration descendante) : pendant la période de reproduction (saison froide), le développement des copépodites se fait dans les deux couches de courant, ce qui réduit le transport net vers l'est. D'après Binet (1977 b).

Diagram showing the horizontal transport of several species as a result of ontogenetic migration during different seasons. *Undinula vulgaris* (downward migration): during their development, the Copepodid stages remain above the Guinea current: eastward shifting; *Euchaeta paraconcinna* (upward migration): if the Copepodid stages remain in the lower layer, net shifting is westward, but if the older stages reach the superficial layer, net shifting is slowed; *Calanoides carinatus* (downward migration): during the breeding period (cool season), the development of Copepodid stages occurs in the two current layers, with a consequent reduction of eastward net shifting.

Fin juillet 1969 (fig. 3 a), le décalage d'ouest en est des copépodites 1 à 5 peut être attribué au courant de Guinée, épais et rapide à cette période. En août 1969 (fig. 3 b), le courant de Guinée est moins épais et moins rapide, les copépodites âgés qui s'étendaient déjà vers l'est, colonisent également la région ouest grâce au sous-courant. En fin de saison froide les upwellings sont interrompus, ainsi que le développement de *Calanoides carinatus*. En novembre 1971 (fig. 3 c), une série de coupes parallèles à la côte, passant par des fonds de 25, 60, 200 m et à 5 milles au large du talus montre l'enfoncement des stades 5 vers le large, au centre du golfe ivoirien. Ils s'enfonceront au-dessous de 500 m et y passeront toute la saison chaude. On ne les retrouvera au-dessus du plateau que lorsque les upwellings se réactiveront.

On peut donc schématiser quelques cycles biologiques caractéristiques par les exemples suivants (fig. 4) :

*Undinula vulgaris*, espèce thermophile, effectue pratiquement toute sa migration au sein du courant de Guinée qui l'éloignera toujours d'éventuelles remontées d'eaux froides dans la région ouest. Il est vraisemblable que le cycle vital des espèces thermophiles se déroule uniquement dans des eaux chaudes. La colonisation du plateau se ferait à partir du large ou de la région libérienne et serait interrompue par les upwellings.

*Euchaeta paraconcinna* accomplit une migration ascendante, au contraire des autres espèces étudiées. Selon l'ampleur de cette migration et selon la profondeur de séparation des deux courants, le transport se fera dans une direction ou dans l'autre.

*Calanoides carinatus* montre deux sortes de migrations. L'une ne concerne que les C5 au début et à la fin de la grande saison froide : en juin, les C5 montent des profondeurs jusque dans les eaux superficielles, y parviennent à maturité et s'y reproduisent. En octobre ou novembre les C5 de la dernière génération s'enfoncent au-dessous de 500 m et passent la saison chaude à l'état de vie ralentie. L'autre migration se déroule pendant la période de multiplication intense de l'espèce : l'étagement vertical des différents stades de développement aboutit à maintenir au sein du golfe ivoirien, enrichi pendant cette saison, une partie importante de la population.

La répartition spatiale, largement conditionnée par la migration ontogénique, n'est pas sans conséquences sur la biologie des espèces. En effet, une migration au sein d'un même courant équivaut à une absence de migration : toute la population se déplace dans la même direction. Ceci représente pour l'espèce un avantage à court terme : elle se maintient dans une eau de caractères physiques constants. Mais à long terme, le milieu s'appauvrit progressivement. Tandis qu'une migration ontogénique dans un système de deux courants entraîne un maintien approximatif de la population dans un volume donné. Ceci est donc un avantage à moyen terme : l'espèce est assurée de retrouver toujours des conditions favorables. Ceci pourrait conduire à des stratégies démographiques et alimentaires différentes. Il peut être intéressant pour une espèce de se multiplier rapidement quand les conditions sont favorables, puis de posséder une phase de résistance. Une alternance de reproduction asexuée et

sexuée pourrait permettre à l'espèce d'exploiter rapidement un milieu favorable (par multiplication asexuée), de reconstituer une population importante et, lorsque les conditions deviennent défavorables, une reproduction sexuée pourrait donner naissance à des formes résistantes, capables d'attendre le retour de meilleures conditions. Les Cladocères, certains Thaliacés pourraient adopter cette stratégie (courante chez les Cladocères d'eaux douces), liée à une absence de migration ontogénique. D'autre part, un régime alimentaire omnivore pourrait être utile aux espèces qui demeurent dans la même veine d'eau, car il leur permet de survivre à son premier appauvrissement. En effet diverses espèces dont les régimes alimentaires ne sont pas exclusivement herbivores (les *Evadne* : Tregouboff, Rose, 1957; les *Salpes* : Van Zyl, 1960) ou sont même franchement omnivores (les *Temora* et *Centropages* : Wickstead, 1962) ont une répartition assez superficielle. Au contraire les espèces qui se livrent à une migration ontogénique prononcée n'ont pas besoin de se livrer au gaspillage que représente une multiplication asexuée, dans la mesure où leur migration les assure de se maintenir toujours dans une zone riche (*Calanoides carinatus*). Pour la même raison elles peuvent se contenter d'un régime herbivore.

Il semble exister une autre relation entre le type de migration ontogénique (ascendante, descendante) et le régime alimentaire (herbivore ou carnivore). En effet les œufs des Copépodes herbivores ne possèdent pas de réserves vitellines (Bernard, 1964; Marshall, 1973) donc les premiers stades larvaires doivent s'alimenter; ils n'ont pas une grande mobilité et il leur est donc nécessaire de se trouver au même niveau que le phyto-plancton, c'est-à-dire dans les couches superficielles. Donc s'il existe une migration ontogénique, elle ne peut qu'être descendante, les stades âgés vivant plus profondément que les jeunes et pouvant se livrer à des migrations trophiques circadiennes. Au contraire, les œufs de Copépodes carnivores possèdent des réserves vitellines; il n'est donc pas nécessaire à leurs premiers stades larvaires de s'alimenter. Par conséquent il leur est possible de vivre en profondeur à des niveaux moins peuplés où les prédateurs sont vraisemblablement moins nombreux. Quand, après plusieurs mues, il leur sera nécessaire de s'alimenter, ils monteront vers des niveaux supérieurs, plus riches. La migration ascendante, semble donc une meilleure stratégie pour les Copépodes carnivores, dont les nauplii sont lécithotrophes.

Nous avons en effet remarqué que les herbivores les plus stricts *Calanidae*, *Eucalanidae* ont une migration ontogénique descendante, tandis qu'un carnivore notoire comme *Euchaeta paraconcinna* a une migration ascendante. Par ailleurs nous n'avons pas remarqué de migration ontogénique chez les omnivores comme les *Temora* et les *Centropages*.

Les exemples de migration ontogénique descendante sont assez courants dans la littérature (in Vinogradov, 1970). Les espèces qui s'y livrent sont des herbivores. Plus rares sont les observations de migration ascendante (Shmeleva, Zaika, 1973; Morioka, 1975). Mais ces dernières sont presque toujours le fait d'espèces carnivores. Comme le suggère Sekiguchi (1975 a et b) la migration

ontogénique est à relier au comportement alimentaire des nauplii.

### Stratégies *r*- et *K*-

Deux types de sélection correspondent aux deux situations extrêmes de l'espèce vis-à-vis de son milieu et engendrent deux types de stratégies démographiques (in Stearns, 1976). Les stratégies de type *r*- repondent à un environnement fluctuant et correspondent à des phases d'expansion de l'espèce; tandis que les stratégies de type *K*- correspondent à un environnement stable et une phase d'équilibre de la population. Dans une stratégie de type *r*- : une maturité précoce, beaucoup de juvéniles de petite taille, de gros efforts de reproduction (une seule ponte très importante, suivie de la mort des adultes) peuvent être favorisés. Tandis que dans une stratégie de type *K*- : une maturité tardive, des pontes multiples, peu de descendants dans chaque portée, une taille à l'éclosion importante, des juvéniles réclamant des soins parentaux, un effort de reproduction faible, seront les comportements privilégiés. La réponse à la prédation se fait en saturant le prédateur dans une stratégie *r*- (multiplicité des larves planctoniques par exemple), en évitant la prédation dans une stratégie *K*-.

Aucun organisme n'est complètement « *r*-sélectionné » ni « *K*-sélectionné », tous doivent atteindre un compromis entre ces deux extrêmes (Pianka, 1970). D'autre part, dès qu'un vide écologique est comblé, la sélection fera glisser la population d'une stratégie de type *r*- au type *K*- (McArthur, Wilson, 1967). Donc une même espèce suivra éventuellement des stratégies différentes selon les variations saisonnières du milieu. Nous avons tenté de classer quelques cycles en fonction de leur position dans le continuum *r*-*K*. Nous n'avons pas de données chiffrées sur l'effort de reproduction mais il semble que nous puissions rattacher certains comportements à un type de stratégie. Ainsi, une poussée démographique brutale est un comportement de type *r*-; tandis qu'une migration ontogénique prononcée, limitant les pertes par dérive, une migration nyctémérale permettant un ralentissement du métabolisme (McLaren, 1963) et un évitement des prédateurs sont des comportements complexes de type *K*-.

Le cycle biologique des Cladocères et des Thaliacés, avec des phases de multiplication asexuée, est sans conteste une stratégie de type *r*-.

Chez les petits Copépodes pérennes, herbivores (*Paracalanus*) ou omnivores (*Temora*, *Centropages*), il n'y a pratiquement pas de migration nyctémérale ni ontogénique, on constate parfois des poussées démographiques importantes (juin ou septembre-octobre selon les espèces). La stratégie est encore nettement de type *r*-.

Le cycle d'un gros Copépode herbivore, thermophile, comme *Undinula vulgaris*, ne présente pas de poussées brutales, la population est donc toujours plus ou moins proche de sa densité d'équilibre. Par contre les migrations verticales sont faibles et presque tous les individus restent dans la même veine d'eau (fig. 2). Ce cycle comporte encore beaucoup d'éléments du type *r*-.

Chez les Copépodes herbivores à migration saisonnière profonde, comme *Calanoides carinatus*, on assiste à une

explosion démographique au début de la saison favorable (stratégie  $r$ -), mais les migrations ontogéniques qui se succèdent ensuite font penser à une stratégie  $K$ -. En effet la migration qui a lieu au-dessus du plateau diminue les pertes d'effectifs (pas de dispersion au-delà de l'aire favorable). La migration profonde en fin de saison froide a les mêmes conséquences; en outre la maturité des C5 est retardée pendant 9 mois, comportement typique d'une stratégie  $K$ -. Les deux stratégies semblent donc utilisées au cours d'un cycle de saisons.

Les variations d'abondance d'*Euchaeta paraconcinna* au cours de l'année sont assez limitées, comme si l'espèce était proche de sa densité maximale. On relève d'autres indices de stratégie  $K$ - : le nombre d'œufs est faible (une dizaine par sac ovigère), ils sont gros (riches en vitellus); enfin la migration nyctémérale est forte, indice d'un comportement élaboré.

Le développement des embryons de Mysidacés sous la protection des oostégites est un élément de stratégie  $K$ - que confirment les observations de Wittman (1978) sur l'« adoption » des jeunes larves.

Les concepts de sélection  $r$ - et  $K$ - permettent donc de classer les cycles biologiques en fonction du type de réponse démographique apporté aux pressions qu'exerce le milieu sur les espèces. D'autre part, la notion de migration verticale — nyctémérale ou ontogénique — dont le rôle dans la survie de l'espèce est certain, semble pouvoir être utilisée comme l'un des traits du cycle biologique d'une espèce planctonique, et par conséquent comme un critère de stratégie  $r$ - ou  $K$ -.

#### ANALYSE DES PEUPELEMENTS : FACTEURS DE VARIATIONS SAISONNIÈRES ET ANNUELLES

On peut étudier les peuplements en ne considérant plus les espèces individuellement, mais en analysant leurs variations globalement, au moyen d'analyses multivariées.

La première analyse exposée (analyse en composantes principales) porte sur un cycle annuel moyen des 24 principaux groupes reconstitué à partir des récoltes de la station côtière effectuées entre 1969 et 1974. Une moyenne par quinzaine, pondérée par année, est calculée à partir du  $\log^2$  des effectifs des taxons suivants classés par ordre d'abondance décroissante : Copépodes, Ostracodes, Appendiculaires, Chaetognathes, végétaux de Lamellibranches, *Limacina* spp., *Lucifer faxonii*, *Calycopteres*, végétaux de Gastéropodes, *Penilia avirostris*, larves de *Natantia* et d'Anomoures, Doliolles, Amphipodes, *Creseis* spp., Polychètes, Cirripèdes, larves de *Brachyours*, Salpes, Hydroméduses, *Evadne tergestina*, *Desmopterus papilio*, *Atlanta* spp., Mysidacés, Euphausiacés (Binet, 1977 a).

Les analyses suivantes (analyses des correspondances) portent sur les effectifs spécifiques des Copépodes de la même station côtière de février 1969 à mars 1970 et de septembre 1972 à octobre 1973, d'une part en considérant séparément les deux années, d'autre part en les analysant simultanément (Binet, 1978).

Le choix de ces analyses est fondé sur les critères suivants (Dessier, Laurec, 1978) :

- pour l'année moyenne calculée à partir des principaux taxons : on a voulu accorder la même importance écologique aux taxons rares et abondants, d'où l'utilisation d'une matrice de corrélations entre taxons réduits et centrés. D'autre part le calcul des moyennes par quinzaine portant sur des  $\log^2$  d'effectifs, il n'était pas nécessaire de procéder à une nouvelle transformation. On a donc choisi une analyse en composantes principales, à partir de la matrice de corrélations entre taxons;
- pour les Copépodes des années 1969-1970 et 1972-1973 : on a préféré redonner une certaine importance aux espèces les plus abondantes, tout en atténuant leurs variations. Ce seront en général les espèces responsables des « structures » déduites de l'analyse. On a également voulu profiter de la représentation duale qui permet de superposer l'espace « espèces » et l'espace « récoltes ». Le choix s'est donc porté sur l'analyse des correspondances.

L'analyse en composantes principales de l'« année moyenne » établie à partir des taxons montre que le découpage de l'année en saisons hydrologiques correspond à une réalité écologique (Binet, 1977 a). Sur le premier axe il y a une opposition entre la grande saison froide et le reste de l'année; dans le plan bissecteur des axes I et II, on note des oppositions plus subtiles entre le début et la fin de la grande saison froide. Dans le plan des axes II et III la première et la seconde saison de décharge s'opposent ainsi que la petite et la grande saison froide; enfin, l'axe III sépare les saisons froides (petite et grande) des saisons de décharge (première et seconde) (fig. 5).

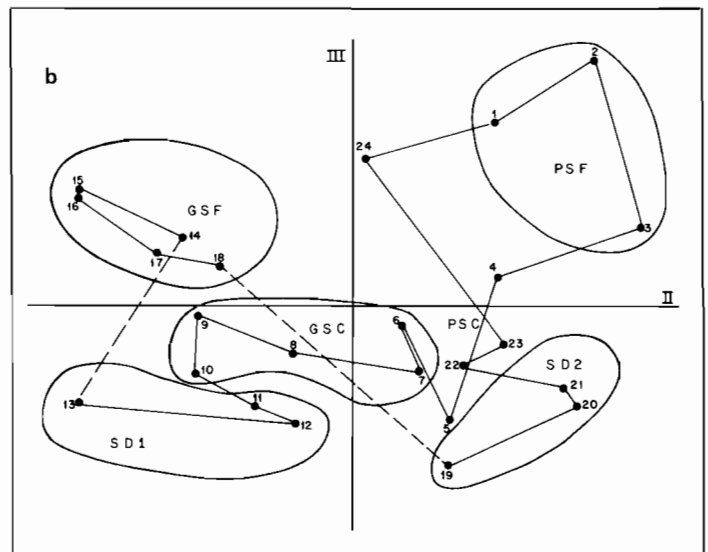


Figure 5

Analyse en composantes principales des corrélations entre taxons. Les chiffres représentent les projections des 24 quinzaines de l'« année moyenne ». PSF, GSF : petite et grande saison froide, PSC, GSC : petite et grande saison chaude, SD 1, SD 2 : première et seconde saison de décharge. Les tirets figurent les « coupures écologiques ». Plan des axes II et III. D'après Binet (1977 a).

Principal component analysis of the taxons correlation matrix. The numbers represent the projections of the 24 fortnights of the "mean year". PSF, GSF: "little" and main cold seasons; PSC, GSC: "little" and main warm seasons; SD 1, SD 2: first and second flooding seasons. In dashed lines: the "ecological gaps". Plane 2-3.

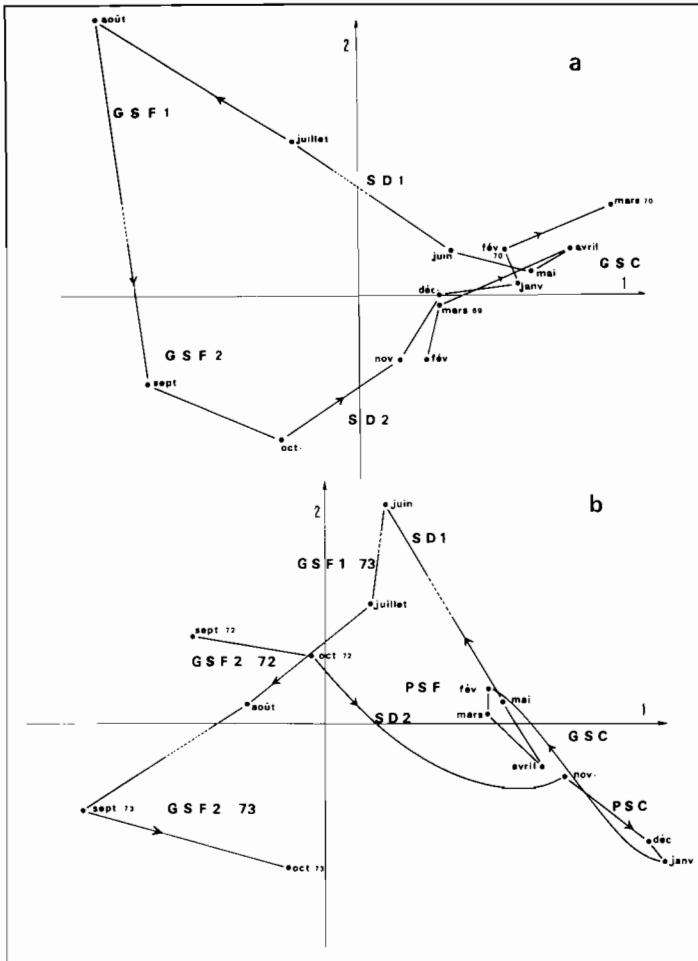


Figure 6

Analyse des correspondances des variations saisonnières de Copépodes à la station côtière. Projection des barycentres mensuels des observations dans le plan des axes 1 et 2. a) cycle 1969-1970; b) cycle 1972-1973. D'après Binet (1978).

*Correspondence analysis of Copepod seasonal variations at the coastal station. Projection of the monthly barycentres of observations on axis 1 and 2. a) 1969-1970 cycle; b) 1972-1973 cycle.*

Pour simplifier l'interprétation des cycles annuels des Copépodes, on a seulement représenté la projection des barycentres mensuels des observations. Pour chacun des deux cycles, le découpage de l'année est approximativement le même que celui de l'analyse précédente (fig. 6 a et b). Sur l'axe I, l'opposition entre la grande saison froide et le reste de l'année traduit la différence entre les faunes des eaux froides et celles des eaux chaudes. Sur l'axe II, l'opposition entre le début et la fin de la grande saison froide indique la différence entre les périodes de refroidissement et celles de réchauffement. Enfin la séparation entre la première et la seconde saison de décharge pourrait traduire une différence entre les crues des fleuves côtiers et ceux des grands fleuves soit probablement entre les ruissellements et lessivages des sols en forêt (basse côte) et en savane (région sahélienne).

Le mois de juin 1973 ressort de façon particulière. En effet, les récoltes de 1972-1973 proviennent d'un filet à maille plus fine (200  $\mu\text{m}$ ) que celles du cycle 1969-1970 (290  $\mu\text{m}$ ); et les petites espèces caractéristiques de cette saison : *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Paracalanus*

*scotti* ont été capturées en abondance particulièrement grande.

Enfin, dans une analyse regroupant les deux cycles annuels, on met en évidence les similitudes et les différences entre les deux années et par conséquent les gradients saisonniers et annuels (Binet, 1978). Sur l'axe I la grande saison froide est opposée aux autres saisons : c'est le gradient thermique saisonnier. L'axe II oppose les saisons froides 1969 et 1973 : c'est la variation thermique interannuelle (en effet la grande saison froide 1973 a été interrompue par des réchauffements). Enfin l'axe III met en évidence le mois de juin 1973; nous venons de voir que les apports lagunaires n'étaient pas exceptionnels, mais que les espèces dont ils favorisaient le développement avaient alors été mieux échantillonnées.

Il ressort de ces analyses que les facteurs responsables des variations saisonnières et annuelles des peuplements sont apparemment : deux facteurs thermiques, l'un lié à la température, l'autre à son sens de variation (refroidissement, réchauffement) et un facteur halin (opposition entre salure et dessalure). Sous cette forme apparemment triviale on pressent que les facteurs écologiques déterminants pourraient être en réalité les différentes sources d'enrichissement :

Facteur I : opposition entre saison froide et saison chaude = *opposition entre production nouvelle* (à partir des sels nutritifs des remontées d'eaux) et *production de régénération* (à partir de l'excrétion et d'un début de décomposition du plancton). La production nouvelle se tenant essentiellement dans la couche superficielle, la production de régénération, près de la thermocline.

Facteur II : opposition entre début et fin de la saison froide = *opposition entre refroidissement et réchauffement* soit *entre une période d'accroissement des sels nutritifs d'origine profonde et une période de diminution de cet apport*. Pour une même concentration de sels nutritifs, on conçoit que l'écosystème se trouve dans un état très différent selon que leur flux augmente ou diminue.

Facteur III : opposition entre saisons froides et saisons de décharge = *opposition entre apports profonds* (par remontées d'eaux) et *apports telluriques* (par ruissellement).

Facteur IV : opposition entre première et seconde saison de décharge = *opposition entre les apports terrigènes des deux saisons des pluies*, soit peut-être *entre les apports de forêt et ceux de savane*.

L'étude des variations saisonnières et annuelles des populations de Copépodes, par des méthodes d'analyse multivariées, nous amène à cerner schématiquement les principaux facteurs écologiques : il semble bien que ce soient les différentes sources d'enrichissement du milieu pélagique.

#### ÉTUDE GLOBALE : BIOMASSES

Arrivé à un tel niveau de schématisation on peut tenter de dresser des modèles — qualitatifs et quantitatifs — permettant de décrire, éventuellement de prévoir, les

phénomènes planctoniques. On utilisera pour cela les mesures de biomasses, les plus rapides et les plus faciles à obtenir (par conséquent les plus nombreuses). Elles ont l'avantage de porter sur un niveau d'intégration écologique élevé, par conséquent mieux régulé et plus facile à modéliser. Nous examinerons les variations des biovolumes à différentes échelles d'espace et de temps; au fur et à mesure que les dimensions spatio-temporelles s'accroissent il sera nécessaire d'introduire de nouveaux paramètres explicatifs.

**Variations saisonnières à la station côtière : influence des résurgences**

La figure 7 représente les variations de volume sédimenté de zooplancton au cours d'une « année moyenne », calculée à partir des valeurs, pondérées par quinzaine, obtenues entre 1969 et 1975; les variations saisonnières de chaque année, différentes dans le détail, suivent le même schéma : abondance moyenne en janvier-février (petite saison froide), abondance décroissante de mars à juin (grande saison chaude), augmentation rapide de juillet à fin août (grande saison froide), suivie d'une décroissance de début octobre à la fin de l'année (petite saison chaude). Tout se passe comme si les remontées d'eaux froides entraînaient un accroissement de biomasse zooplanctonique au cours de la grande saison froide, suivi d'une lente décroissance durant le reste de l'année. Les pertes de l'écosystème planctonique (sédimentation, prédation) n'étant pas compensées par la production de régénération. La petite saison froide entraîne une faible et brève augmentation de la biomasse.

On peut donc apparemment interpréter les variations saisonnières par l'influence des upwellings et de leurs variations d'intensité. Nous n'expliquons cependant pas l'existence de deux pics en grande saison froide : fin août et début octobre.

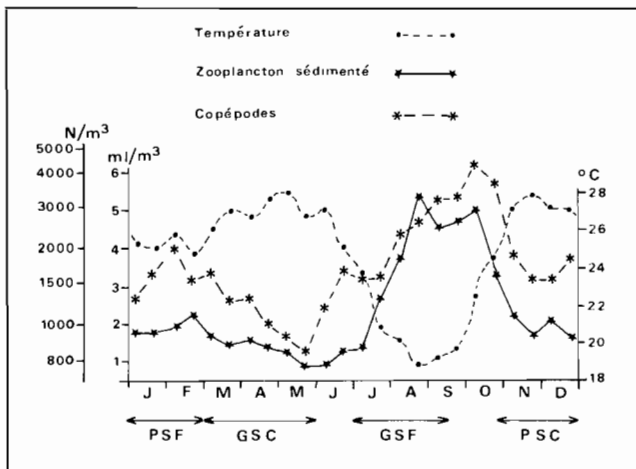


Figure 7  
Température à 10 m, biovolume sédimenté de zooplancton et effectif total de Copépodes à la station côtière d'Abidjan au cours d'une année moyenne (1969-1975). D'après Binet (1977 a).  
10 m temperature, zooplankton settled volume and total number of Copepods at the Abidjan coastal station. Fortnightly average (1969-1975).

**Variations saisonnières sur l'ensemble du plateau continental**

Rôle des upwellings, de la thermocline et des migrations ontogéniques entre deux courants superposés. Au mois de juillet, en début de saison froide on observe un upwelling très actif dans l'ouest du golfe ivoirien. Le courant de Guinée est épais et rapide; les zones plus riches en zooplancton sont décalées d'une centaine de milles à l'est de la remontée la plus forte (fig. 8).

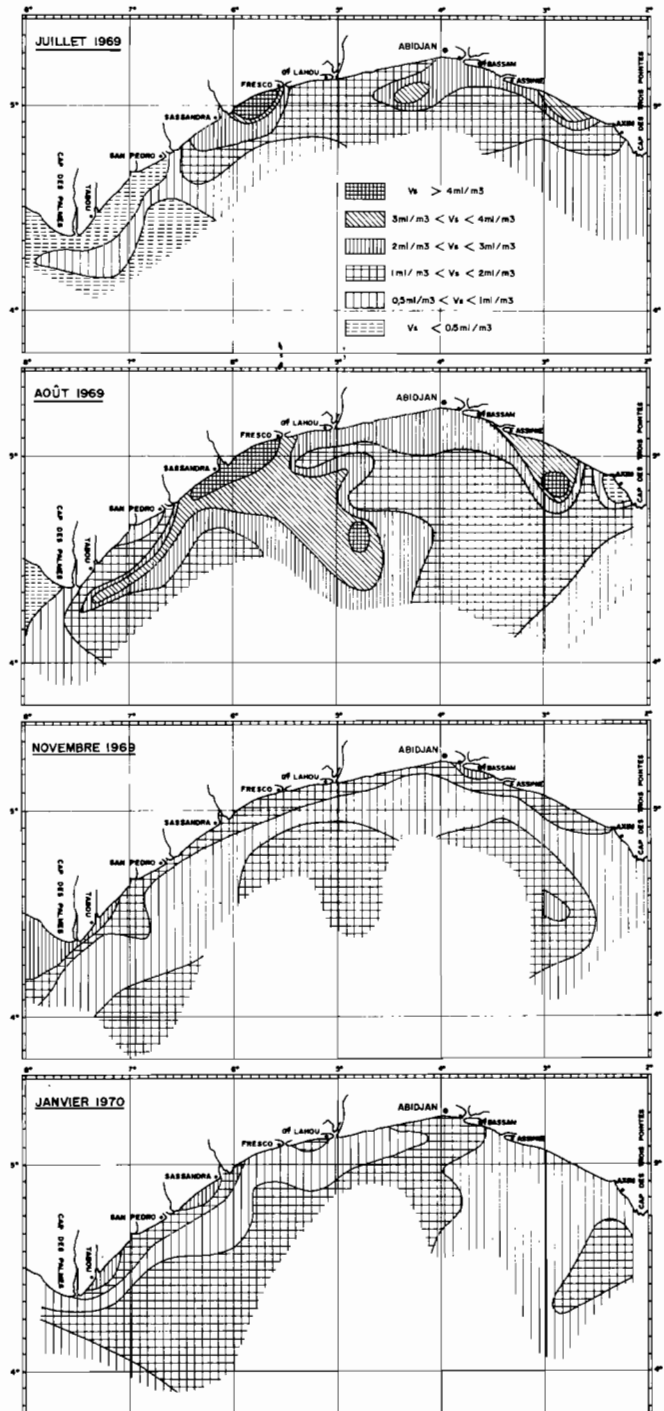


Figure 8  
Répartition des biovolumes sédimentés de zooplancton (ml/m<sup>3</sup>) recueilli au cours de quelques campagnes « PK », en traits obliques au filet ICITA : 22 au 28 juillet 1969, 19 au 24 août 1969, 19 au 23 novembre 1969, 16 au 23 janvier 1970.  
Zooplankton settled volume distribution (ml/m<sup>3</sup>) during several "PK" cruises (oblique hauls with ICITA nets): 22-28 July, 19-24 August and 19-23 November 1969, and 16-23 January 1970.

Les premiers maillons de la chaîne alimentaire se développent dans le courant de Guinée au fur et à mesure de sa dérive. Étant donné l'épaisseur de la couche et la rapidité du transport vers l'est, tous les copépodites n'atteignent pas le niveau inférieur et le développement d'une partie importante de la population se fait dans la strate superficielle, d'où ce décalage.

Au mois d'août, la vitesse et l'épaisseur du courant superficiel diminuent. Les stades âgés des espèces à migration ontogénique descendante (comme *Calanoides carinatus*) atteignent donc le sous-courant ivoirien et sont transportés vers l'ouest, jusque dans la région des upwellings. D'autre part tous les individus d'une même génération ne restent pas en phase. Le passage plus ou moins rapide d'un stade au suivant et donc de la couche superficielle à la sous-jacente entraîne une dispersion est-ouest.

Cette situation se maintient approximativement en septembre. L'ensemble du golfe ivoirien connaît donc des teneurs en plancton élevées. Puis en octobre, lorsque les upwellings sont interrompus et que leurs eaux sont bloquées dans l'ouest par une inversion du courant de surface, les quantités de zooplancton décroissent légèrement.

Le déclin se confirme nettement en novembre, à l'exception d'une frange plus riche, le long de la côte qui pourrait être attribuée aux crues des fleuves.

A nouveau, lorsque les upwellings se réaniment dans l'ouest de la région, au cours de la petite saison froide, on observe un accroissement des quantités de zoo-

plancton près des remontées d'eaux. Cet enrichissement se manifeste plus ou moins loin selon l'importance du phénomène hydrologique.

En grande saison chaude, toute la région est uniformément pauvre. Cependant la répartition verticale du zooplancton : léger enfoncement de la côte vers le large (Binet, 1972) est comparable aux modifications régionales de la thermocline. En effet l'essentiel de la production primaire se tient à ce dernier niveau (proximité des sels nutritifs profonds, ralentissement de la sédimentation des particules superficielles partiellement reminéralisées, à une profondeur euphotique). Une couche homogène épaisse implique donc une production primaire et secondaire faible. En outre, nous avons vu qu'à l'exception des espèces très thermophiles, le zooplancton évitait les eaux les plus chaudes et se trouvait donc bloqué sous la thermocline. Un enfoncement de la thermocline diminue donc le volume habitable par le zooplancton et par conséquent la quantité totale de zooplancton.

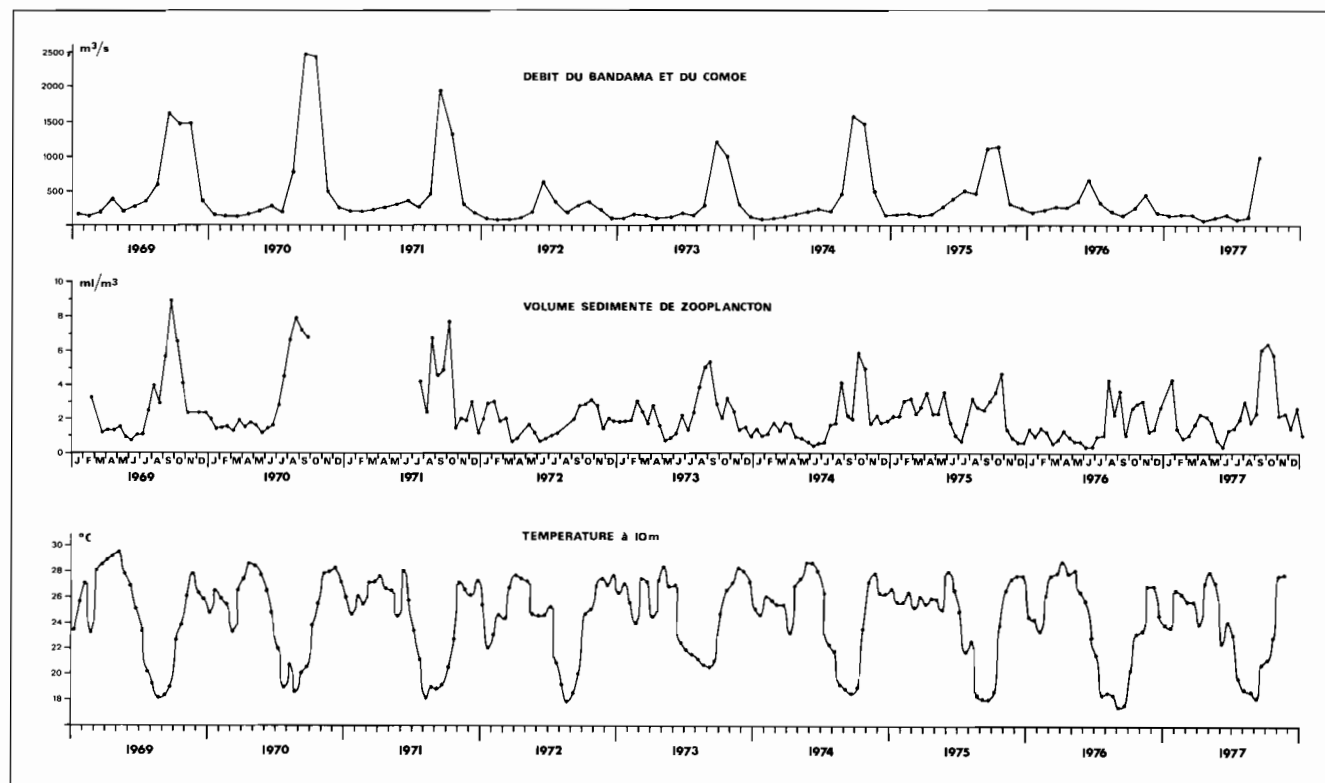
#### Variations annuelles à la station côtière : influence des crues

L'observation des variations de biovolumes de 1969 à 1977 montre qu'il y a bien chaque année un maximum en fin de saison froide, mais que ce maximum est assez variable d'une année sur l'autre (fig. 9). L'upwelling est lui aussi variable : en 1973 le refroidissement a été plus faible, sans que le pic de zooplancton en soit très

Figure 9

De haut en bas : débits des fleuves Bandama et Comoé à Tiassalé et Alépé (données du Service hydrologique de Côte-d'Ivoire) zooplancton sédimenté à la station côtière d'Abidjan, température à 10 m à la station côtière (données du Centre de Recherches océanographiques d'Abidjan).

From the top : Bandama and Comoé river flow at Tiassalé and Alépé; zooplankton settled volume at the Abidjan coastal station; 10 m temperature at the same station.



affecté. Par contre on remarque que les crues des grands fleuves ont été moins importantes en 1972 et 1976, et que ces mêmes années le maximum hivernal de zooplancton est plus faible que les autres années.

Un calcul de corrélation confirme cette impression. Pour étudier l'hypothèse selon laquelle toute diminution de température entraîne une augmentation de zooplancton, on a porté sur un graphique les écarts à la moyenne de zooplancton en fonction des écarts de température, pour chaque quinzaine (fig. 10). On supprime ainsi la tendance saisonnière pour ne plus garder que la tendance annuelle. Il existe bien une corrélation  $r=0,39$  (points noirs) entre refroidissements et quantités de zooplancton, à l'exception des périodes les plus froides (août, septembre, octobre) durant lesquelles les quantités de zooplancton sont indépendantes du refroidissement (cercles blancs). Pendant cette période l'apport de sels nutritifs profonds n'est donc plus le facteur limitant.

Il semble donc que la crue des grands fleuves (septembre-octobre), par l'apport de matériaux terrigènes qu'elle entraîne, ait un rôle important dans l'accroissement des biomasses. Une corrélation entre les moyennes mensuelles de biovolume planctonique et de débit des fleuves Bandama et Comoé est en effet significative à 1‰ ( $r=0,69$  pour 68 observations, cf. Binet, 1976).

Les quantités de zooplancton dépendent particulièrement des refroidissements pendant les périodes chaudes,

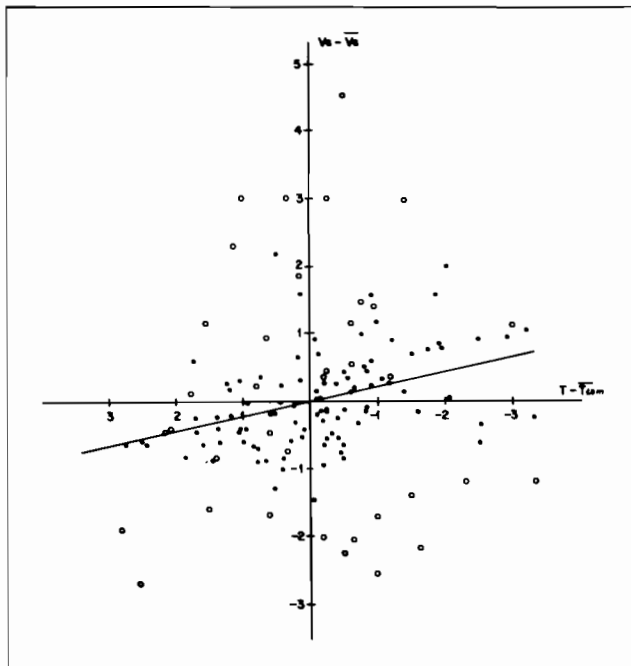


Figure 10  
Relation entre les anomalies de zooplancton sédimenté ( $\Delta Z = V_s - \bar{V}_s$ ) et de température ( $\Delta T = T - \bar{T}_{10,m}$ ) : écarts de chaque quinzaine à une moyenne pluriannuelle. Les quantités de plancton sont d'autant plus élevées par rapport à la moyenne pluriannuelle que le refroidissement est plus intense (points noirs); à l'exception des mois d'août, septembre et octobre (cercles).  $r=0,39$ . D'après Binet (1976).

Relationships between the settled zooplankton ( $\Delta Z = V_s - \bar{V}_s$ ) and temperature anomalies ( $\Delta T = T - \bar{T}_{10,m}$ ): deviation between each fortnight and a pluriannual mean. Zooplankton quantity is as high, compared with the pluriannual mean, as cooling is intense (black dots)—except in August, September and October (open circles).  $r=0,39$ .

puis lorsque les upwellings atteignent une certaine intensité le facteur limitant la production secondaire devient l'apport des grands fleuves.

On peut calculer une régression multiple entre bio-volumes, températures et débit fluviaux :  $r_{z,td}=0,79$  pour 67 triplets d'observations. Il est cependant vraisemblable que les différents écosystèmes qui se succèdent au cours de l'année ne réagissent pas tous de la même façon aux apports des eaux profondes ou des eaux continentales. Il est intéressant de rechercher ces régressions multiples sur des intervalles de temps beaucoup plus courts qu'une année. On peut ainsi calculer 12 régressions (une par mois). Les valeurs recalculées à partir de ces régressions sont en très bon accord avec les valeurs observées ( $r=0,89$  pour 67 observations, Binet, 1976).

Ces régressions multiples ont donc un double intérêt : montrer que dans la région côtière ivoirienne la biomasse planctonique dépend à la fois des enrichissements profonds et terrigènes; constituer un « modèle » mensuel extrêmement sommaire, susceptible d'être amélioré avec davantage d'observations, susceptible en l'absence d'observation directe d'indiquer une anomalie de la biomasse planctonique capable de se répercuter sur la chaîne alimentaire : à partir de 1972, le stock ivoiroghanéen de *Sardinella aurita* a pratiquement disparu (Anonyme, 1976). Il est probable que la faiblesse de la biomasse planctonique de la fin de la saison froide de 1972 en est en partie responsable. L'utilisation d'un tel modèle eut peut-être permis de limiter la pêche et de préserver une partie du stock.

## CONCLUSION

L'étude des cycles biologiques de quelques espèces a montré un certain nombre de caractéristiques intéressantes traduisant différents types d'adaptation au milieu : présence saisonnière ou pérenne, existence ou absence de déplacements verticaux (liés à l'alternance du jour et de la nuit, à la succession des saisons, ou au développement des individus), brièveté de l'existence (par rapport aux durées de vie sous les latitudes tempérées), type de stratégie démographique  $r$ - ou  $K$ -. L'adaptation la plus remarquable semble être la migration ontogénique. Elle est indirectement liée au régime alimentaire et à la stratégie démographique utilisée; elle a, en outre, d'importantes conséquences sur la répartition et les déplacements de la biomasse secondaire.

Les principaux facteurs écologiques que dégagent les analyses multivariées sont les différentes natures d'enrichissement (origine profonde ou tellurique) et les différents types de production primaire (nouvelle ou de régénération). Les variations saisonnières des mécanismes d'enrichissement (upwellings ou crues) permettent d'expliquer, et dans une certaine mesure de prévoir, les variations saisonnières ou annuelles de biomasse zooplanctonique. Mais pour interpréter les variations de cette biomasse dans l'ensemble du golfe ivoirien, il est nécessaire de faire appel à la migration ontogénique entre deux courants opposés.



Il est bien évident que les schémas explicatifs proposés n'ont de sens qu'à l'échelle spatio-temporelle de notre échantillonnage : variations mensuelles ou annuelles, le long d'un golfe de 300 milles de longueur. Il est certain que pour interpréter un échantillonnage plus fin (de l'ordre de la journée, du mille), il faudrait pouvoir disposer de données physiques et biologiques d'une autre qualité.

Les questions relatives aux migrations nyctémérales, à la microdistribution spatiale ou à la variabilité à court terme ne pourront vraisemblablement être résolues sans la connaissance des ondes internes, particulièrement sensibles au niveau de la thermocline. Dans la mesure où cette thermocline est une frontière écologique séparant des eaux de densité planctonique différente, et siège privilégié de la production primaire, on pressent qu'il faudrait peut-être chercher là une des raisons de la variabilité à court terme du zooplancton.

## RÉFÉRENCES

- Anonyme, 1976. Rapport du groupe de travail sur la Sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes, Abidjan 28-6/3-7-1976, Fishery Research Unit Tema, CRO Abidjan, ORSTOM, 63 p., 27 fig.
- Avenard J. M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J. L., Adjanooun E., Perraud A., 1971. *Le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire*, Mémoire ORSTOM, 50, 391 p.
- Bernard M., 1964. Le développement nauplien de deux Copépodes carnivores : *Euchaeta marina* (Praestandr.) et *Candacia armata* (Boeck) et observations sur le cycle de l'astaxanthine au cours de l'ontogénèse, Pelagos, *Bull. IO Alger*, 2, 1, 51-70.
- Berit G. R., 1966. Les eaux dessalées du golfe de Guinée, *C.R.O. Abidjan Doc. Sci.*, 9, 1-15.
- Binet D., 1972. Variation des biovolumes de zooplancton du plateau continental entre le cap des Palmes et le cap des Trois Pointes, *C.R.O. Abidjan Doc. Sci.*, 3, 2, 60-93.
- Binet D., 1976. Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au-dessus du plateau ivoirien, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 14, 4, 301-326.
- Binet D., 1977 a. Grands traits de l'écologie des principaux taxons du zooplancton ivoirien, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 15, 2, 89-110.
- Binet D., 1977 b. Cycles biologiques et migrations ontogéniques chez quelques Copépodes pélagiques des eaux ivoiriennes, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 15, 2, 111-138.
- Binet D., 1977 c. Contribution à la connaissance du zooplancton néritique ivoirien. Écologie descriptive et dynamique, *thèse Doct. Sci. nat.*, Univ. Pierre-et-Marie-Curie, ORSTOM, Paris, 282 p.
- Binet D., 1978. Analyse globale des populations de Copépodes pélagiques du plateau continental ivoirien, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 16, 1, 19-62.
- Binet D., Suisse de Sainte-Claire E., 1975. Contribution à l'étude du Copépode planctonique *Calanoides carinatus* : répartition et cycle biologique au large de la Côte-d'Ivoire, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 13, 1, 15-30.
- Dandonneau Y., 1973. Étude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte-d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatiotemporelles, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 11, 4, 431-454.
- Dessier A., Laurec A., 1978. Le cycle annuel du zooplancton à Pointe-Noire (RP Congo). Description mathématique, *Oceanol. Acta*, 1, 3, 285-304.
- Gibson V. R., Grice G. D., 1976. Developmental stages of *Pontella meadi*, Wheeler (Copepoda : Calanoida), *J. Fish. Res. Board Can.*, 33, (4 pt 1), 847-854.
- Haq S., 1972. Breeding of *Euterpina acutifrons*, a harpacticid Copepod, with special reference to dimorphic males, *Mar. Biol.*, 15, 3, 221-235.
- Lemasson L., Rebert J. P., 1973. Les courants marins dans le golfe ivoirien, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 11, 1, 67-95.
- McArthur R. H., Wilson E. D., 1967. *The theory of island biogeography*, Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 203 p.
- McLaren I. A., 1963. Effect of temperature on growth of zooplancton and the adaptive value of vertical migration, *J. Fish. Res. Board Can.*, 20, 3, 685-727.
- Marshall S. M., 1973. Respiration and feeding in Copepods, in *Adv. Mar. Biol.*, edited by F. S. Russel and M. Yonge. Academic Press, 11, 57-120.
- Morioka Y., 1975. A preliminary report on the distribution and life history of a Copepod, *Pareuchaeta elongata*, in the vicinity of Sado Island, the Japan Sea (in Japanese), *Bull. Jpn. Sea Reg. Fish. Res. Lab., Niigata*, 26, 41-56.
- Morlière A., 1970. Les saisons marines devant Abidjan, *CRO Abidjan Doc. Sci.*, 1, 2, 1-15.
- Morlière A., Rebert J. P., 1972. Étude hydrologique du plateau continental ivoirien, *CRO Abidjan Doc. Sci.*, 3, 2, 1-30.
- Park Y. H., 1977. Sur les marées internes devant Abidjan, Rapport DEA, Univ. Bretagne occ., 47, p. multigr.
- Petit D., Courties C., 1976. *Calanoides carinatus* (Copépode planctonique) sur le plateau continental congolais. I. Aperçu sur la répartition bathymétrique, géographique et biométrique des stades; générations durant la saison froide 1974, *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, 14, 3, 177-200.
- Pianka E. R., 1970. On r- and K- selection, *Am. Nat.*, 104, 592-597.
- Sekiguchi H., 1975 a. Distributional expansion of the pelagic Copepod in relation to its large-scale ontogenic vertical migration, *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 2, 19-28.
- Sekiguchi H., 1975 b. Seasonal and ontogenic vertical migrations in some common Copepods in the northern region of the north Pacific, *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 2, 29-38.
- Shmeleva A. A., Zaika V. Ye., 1973. Vertical distribution of Copepodid Stages of Copepods in the Adriatic Sea, *Oceanology*, 13, 5, 722-725.
- Stearns S. C., 1976. Life-history tactics: a review of the ideas, *Q. Rev. Biol.*, 51, 3-47.
- Tregouboff G., Rose M., 1957. *Manuel de planctologie méditerranéenne*, tome 1, Centre national de la Recherche Scientifique, Paris, 587 p.
- Uye S. I., Onbe T., 1975. The developmental stages of *Pseudodiaptomus marinus* Sato (Copepoda, Calanoida) reared in the laboratory, *Bull. Plankt. Soc. Jpn.*, 21, 2, 65-76, ou *Inf. Bull. on Planktol. in Jpn.*, 21, 2, 1-12.
- Vinogradov M. E., 1970. *Vertical distribution of the Oceanic Zooplankton*, translated from Russian, Israël Programme for Scientific translations, Jerusalem, 339 p.
- Wittmann K. J., 1978. Adoption, replacement, and identification of young in marine Mysidacea (Crustacea), *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 32, 3, 259-274.
- Wickstead J. H., 1962. Food and feeding in pelagic copepods, *Proc. Zool. Soc. London*, 139, 545-555.
- Zyl R. L. van, 1960. The south African pilchards (*Sardinops ocellata*). A preliminary study of the Salps and Doliolids off the west and south coast of South Africa, *Div. Fish. Invest. Report Cape Town* 40, 31 p.



## PECHE PROFONDE EN NOUVELLE-CALEDONIE

Pierre Fourmanoir  
 ORSTOM  
 B.P. A5, Nouméa  
 Nouvelle-Calédonie

On peut considérer que la pêche profonde commence à partir de 120 m et qu'elle s'arrête vers 400 m avec la disparition des poissons d'intérêt économique.

Sur la grande-terre et à Ouvéa, les eaux de lagon étant poissonneuses, l'obligation de pêcher en dehors du récif-barrière ne s'est pas encore fait sentir. A Lifou et à Maré la pêche occasionnelle s'exerce en moyenne à 180 m, les grands fonds étant proches du rivage.

On constate depuis plusieurs années un ralentissement dans la vente du poisson de lagon, le pouvoir d'achat des consommateurs ayant baissé et les craintes de consommer le poisson toxique<sup>1</sup> devenant de plus en plus grandes chez les français de métropole. L'approvisionnement en poissons profonds d'excellente qualité qui ne sont jamais toxiques permettrait d'améliorer le marché et de développer l'activité de pêche.

Les poissons profonds sont représentés par un petit nombre de familles et d'espèces, la dominante étant celle des vivaneaux (Etelidae)<sup>2</sup>. Nous en donnons la description et l'habitat connus par les résultats des pêches du bateau de l'ORSTOM le *Vauban*, ainsi que les procédés de pêche.

### DEFINITION DES ESPECES DE POISSONS PROFONDS

#### ETELIDAE (Vivaneaux)

##### (a) Genre *Pristipomoides*

Les six espèces du genre diffèrent par la couleur, la forme et le nombre d'écaillés, les formules de nageoires demeurant constantes: D.X, 11, A. III, 8. Cette formule est encore la même pour les autres genres *Etelis*, *Tropidinius*, *Aphareus*. En ce qui concerne les écaillés de la ligne latérale *P. multidens* en a 50-52; *P. flavipinnis*, *P. filamentosus*, *P. sp.* en ont 60-62 enfin *P. sieboldi* et *P. auricilla* en ont 70-72.

Nous donnons ici les caractères des trois espèces les plus importantes:

##### Vivaneau jaune (*P. flavipinnis*)

Le dessus de la tête est marbré de rose-lilas et de jaune-olive. La ligne latérale est jaune ainsi que la nageoire pectorale, la nageoire caudale est rose avec bordure jaune. Il y a de larges taches jaunes sur la membrane de la dorsale. Son habitat est entre 150 et 300 m et il demeure en permanence au fond. Son poids maximum est de 3 kg.

##### Vivaneau blanc (*P. filamentosus*)

Les profils dorsal et ventral sont symétriques. A la capture la couleur est blanche teintée de rose ou de violet, faiblement argentée. La nageoire caudale a un pourtour rouge, couleur particulièrement vive dans l'échancrure. Les autres nageoires étant teintées de jaune-rosé, c'est par la couleur de l'échancrure caudale qu'on distingue le plus rapidement le vivaneau blanc du vivaneau jaune. On le trouve de 40 à 250 m, la profondeur optimum étant 150 m. Contrairement à l'espèce précédente il peut s'écarter du fond en formant des bancs qui suivent le gros plancton. Son poids atteint 6 kg mais la moyenne est un peu inférieure à 2 kg.

1. A cause de la ciguatera.

2. Souvent regroupés dans la sous-famille des Etelinae (Lutjanidae).

**Vivaneau grosse écaille (*P. multidentis*)**

On l'identifie à ses grosses écailles dont le nombre est de 50 à la ligne latérale, à la couleur lie de vin de dessus de la tête parcourue de veines jaunes et à une ligne jaune sous-oculaire. On le pêche à 260 m en moyenne au large du récif ouest, et vers 220 m au sud de l'île des Pins où la pente est faible. Le poids moyen est 4,5 kg.

**(b) Genre *Etelis*****Vivaneau rouge ou sacré chien rouge (*E. carbunculus*)**

La coloration est rouge vif quelque peu orangée, la pointe du lobe caudal inférieur est blanche. La forme est très robuste, la caudale est courte, la denture est constituée de fortes canines. On le pêche entre 230 et 440 m, la profondeur où il se tient le plus souvent est en moyenne 320 m.

C'est le plus grand des vivaneaux, le poids pouvant atteindre 30 kg. Une dizaine d'exemplaires pesant plus de 18 kg ont été pris en Nouvelle-Calédonie. Cependant une pêche normale consiste surtout en exemplaires de 6 à 8 kg.

**Vivaneau la flamme, barbier (*Etelis oculatus*)**

C'est un magnifique poisson rouge cerise de forme élancée aux lobes de la caudale très allongés pourvu d'une faible denture. On le prend entre 300 m et 450 m. Son poids atteint 15 kg. Les deux tiers (en poids) d'une pêche d'*Etelis oculatus* sont constitués par des exemplaires de 6 à 9 kg.

A l'extérieur du récif ouest calédonien, la moyenne de répartition des deux espèces a été (en poids) deux tiers d'*E. carbunculus* et un tiers d'*E. oculatus*. La proportion est inversée sur les bancs du large, en particulier ceux situés entre Ouvéa et Lifou et au sud de l'île des Pins.

Les *Etelis* sont vendus à un prix très élevé au Japon et à Hawaï. A la Réunion le prix du kilo est 60 F. Etant excellents et jamais toxiques, comme nous l'avons signalé au début, ils pourraient être vendus 400 F. CFP à Nouméa.

**(c) Genre *Tropidinius***

Représenté par deux espèces *T. zonatus* ou cerf-volant et *T. argyrogrammicus*, ce genre n'a d'intérêt qu'en tant qu'indicateur de site favorable à *Etelis*, car il se trouve entre 250 m et 400 m. Le plus gros des deux, le cerf-volant, magnifiquement coloré avec ses huit bandes parallèles alternativement jaune d'or et rose vif, ne dépasse pas 1,5 kg.

**(d) Genre *Aphareus***

L'*Aphareus* rouge ou lantanier (*Aphareus rutilans*) a une puissante caudale car il est rapide nageur, une mâchoire inférieure très longue proéminente, un régime alimentaire à base de petites proies. Il se déplace près du fond à la profondeur moyenne de 150 m. On le prend de façon très irrégulière, les hauts-fonds des Loyauté paraissant les plus favorables. Son poids atteint 10 kg.

**SERRANIDAE (Loches, mérours, plates)****Loche noire (*Epinephelus morrhua*)**

Robe marron verdâtre traversée par trois ou quatre bandes en guirlande brun noir alternant parfois avec des lignes composées de points. Les petits exemplaires se rencontrent à partir de 140 m, les adultes qui atteignent le poids de 6 kg descendent jusqu'à 320 m.

**Loche pintade (*E. chlorostigma*)**

Taches hexagonales très petites et serrées vert-olive à ocre jaune. Elle se trouve entre 150 et 280 m de profondeur, son poids atteint 7 kg mais elle ne pèse en moyenne que 2 kg.

### Loche plate grise (*E. septemfasciatus*)

Cette grande loche qui atteint le poids de 50 kg est remarquable par la membrane de la nageoire dorsale très profondément incisée entre les épines et par huit bandes verticales noires nettement délimitées. Elle se trouve en Nouvelle-Calédonie entre 260 m et 320 m alors qu'elle est beaucoup moins profonde en Australie, au Japon, à la Réunion et à l'île Maurice.

### CARANGIDAE (Carangues)

#### Carangue amoureuse, carangue ambrée (*Seriola rivoliana*)

Elle est prise près du fond entre 140 m et 340 m. Les plus grandes qui peuvent atteindre 25 kg sont les plus profondes.

## PROCEDES DE PECHE

### Palangres

Les risques d'accrochages suivis de perte en utilisant les palangres (ou lignes de fond) ordinaires sont très élevés sur les fonds accidentés de 120 à 250 m, les risques sont moindres à plus grande profondeur mais ils ne descendent aux taux acceptable de 10 pour cent qu'à partir de 400 m.

Pour cette raison, on évite d'employer une palangre en pose directe sur le fond. On la dispose de façon à ce qu'elle soit suspendue à 15 ou 20 m au-dessus du fond (Fig. 1). Le diamètre de la palangre est 8 mm (nylon, kuralon), elle porte tous les 25 m un avançon (Fig. 2) en nylon monofilament de résistance 50 kg dont la partie inférieure, terminée par un lest de 1 kg posé sur le fond, porte 5 hameçons. Un flotteur de 1 l de capacité est placé à proximité de chaque avançon. Un orin de bouée de 6 à 8 mm de diamètre est attaché à chacun des lests (8 kg) d'extrémité de la palangre. Dans la pêche artisanale avec un bateau d'une douzaine de mètres, une longueur de palangre de 800 m avec trois orins de bouée ou deux palangres de 400 m avec deux orins de bouée chacune, paraissent suffisantes. Dans les deux cas une trentaine d'avançons en fil de nylon porteurs d'un total de 150 hameçons sont fixés par mousquetons à la palangre. Il ne faut qu'un treuil de faible puissance pour relever la palangre après une pose qui dure trois quarts d'heures à une heure et demie suivant l'abondance du poisson et la fréquence des requins.

Sur le *Vauban*, le côté droit est dégagé permettant le chalutage latéral. C'est donc à tribord et vers l'arrière que les palangres sont aussi mises à l'eau. On jette d'abord les deux flotteurs gonflables de signalisation et l'orin de bouée, qui mesure environ 400 m dans le cas de la pêche à l'*Etelis*, est entraîné par déroulement à vitesse moyenne. En approchant de l'attache orin, palangre, lest, la marche est ralentie afin de pouvoir attacher ensuite sans difficulté les petits flotteurs à immersion et les avançons à la palangre. Le premier avançon est déroulé avant l'apparition de la première marque des intervalles de 25 m de la palangre, sur la marque sont alors juxtaposés, par attaches à mousquetons, l'avançon et le flotteur. Si l'on utilise une palangre de 400 m on arrive au lest terminal après avoir broché 15 avançons et 15 flotteurs, on file ensuite en marche plus rapide l'orin de bouée final. L'opération demande cinq personnes en comptant le capitaine attentif à maintenir la route à la profondeur choisie. Sur un petit bateau quatre personnes suffisent.

Si l'on a une palangre de 800 m qui comporte trois lests et trois orins, l'orin de bouée du milieu de ligne, préalablement déroulé à l'arrière, s'attache au moment du passage du lest central. Au lieu de dérouler orins de bouée et palangre à partir d'un tambour sur lequel ils ont été enroulés pendant la relève, on peut aussi bien jeter régulièrement la corde d'orin et filer la palangre à partir de paniers où elles ont été lovées.

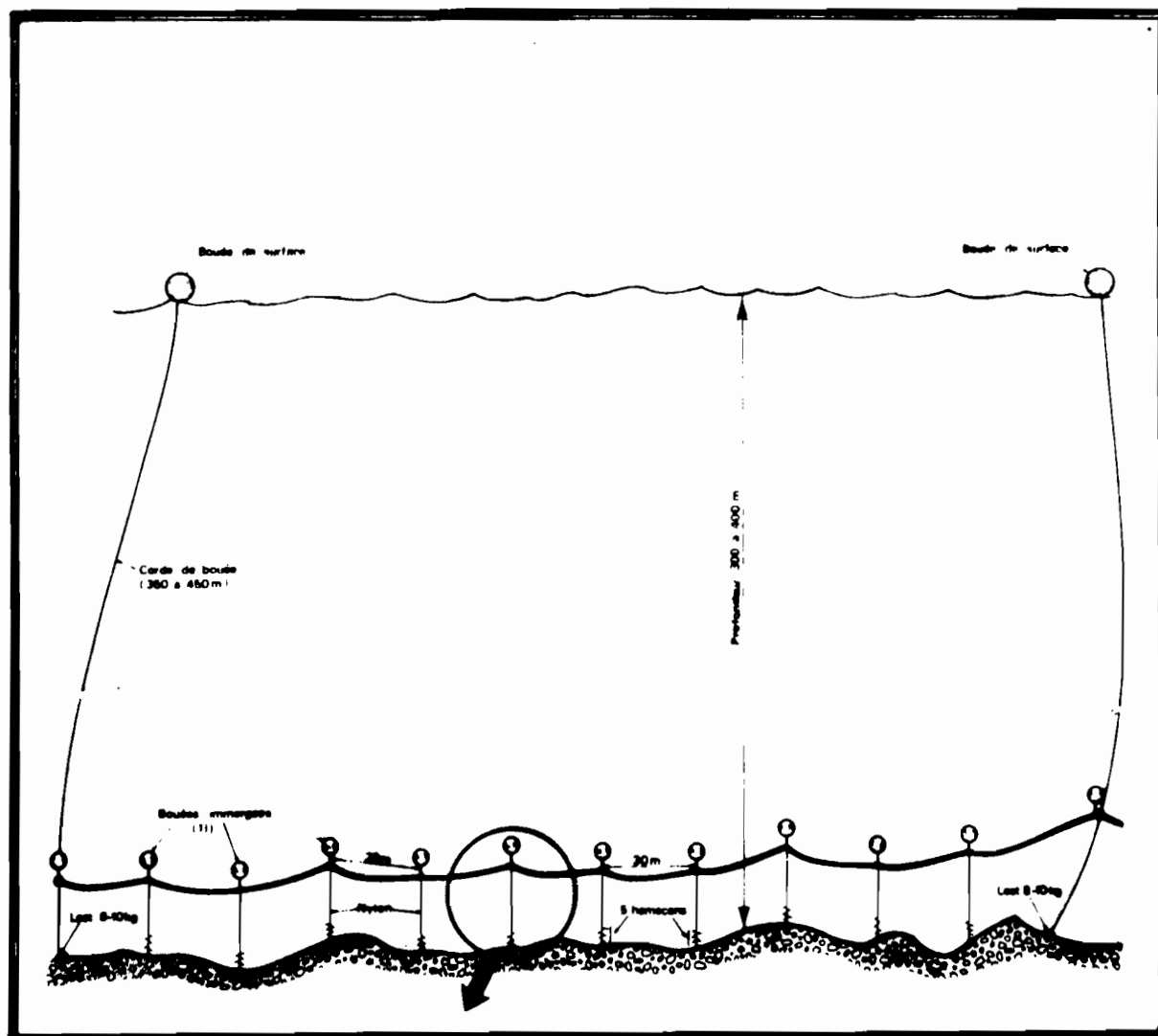


Figure 1 : Schéma de ligne suspendue pour la pêche profonde des Vivaneaux (*Etelis*).

En ce qui concerne le montage des avançons, de robustes émerillons triples doivent être placés à la jonction du nylon de 5 hameçons (Fig. 2). L'hameçon peut être un Mustad-Tuna Circle hook ou Mustad knife edge, de taille n° 7 ou n° 8. Au moment de l'utilisation la partie inférieure d'environ 6 m est libérée pour permettre l'appâtage des hameçons, le reste du nylon étant maintenu enroulé par le serrage du mousqueton. La partie avec hameçons appâtés et lest de 1 kg, est mise à l'eau la première, entraînant ensuite le reste des spires de nylon lorsque le mousqueton qui les retient a été desserré. Ce dernier est alors fixé au niveau de la marque de palangre tous les 25 mètres.

DETAIL DE L'AVENÇON AVEC SES HAMEÇONS TERMINAUX

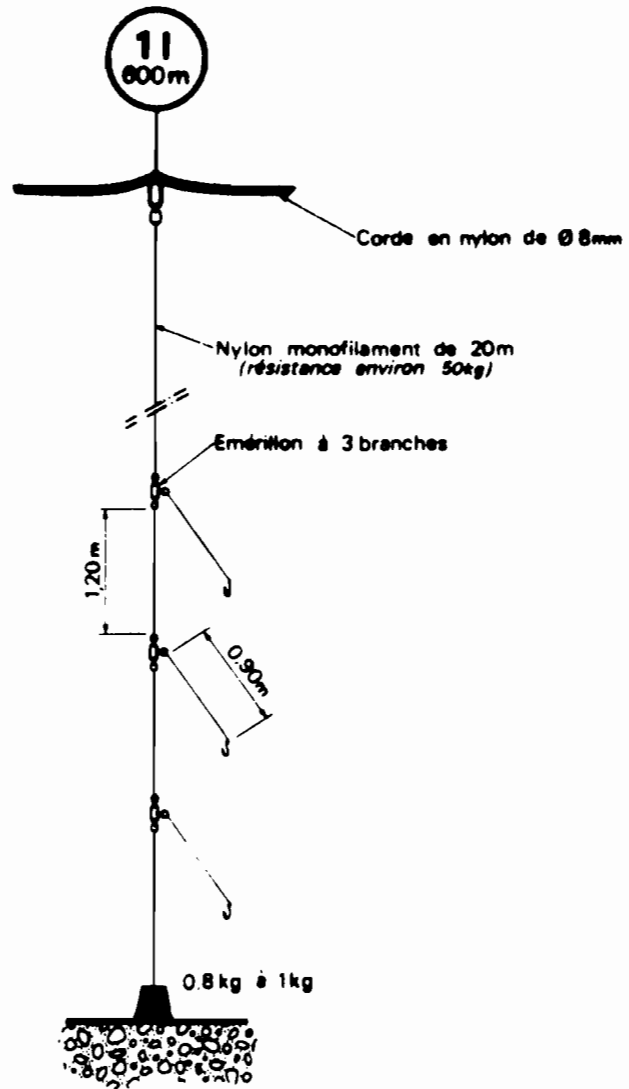


Figure 2

Il y a deux profondeurs d'utilisation des palangres:

**150 à 250 m:** Les poissons pris sont surtout des vivaneaux aux teintes rose et jaune dépassant rarement le poids de 3 kg. Quand ces poissons sont en grand nombre (comme cela arrive surtout à *Pristipomoides filamentosus*) ils attirent les requins du genre *Carcharinus* (*C. amblyrhynchos*, *C. albimarginatus*, *C. plumbeus*) qui cassent les lignes en s'emparant de la pêche.

Il faut s'assurer qu'il n'y a pas trop de requins avant d'abandonner environ une heure la ligne à ces profondeurs.

**280 à 380 m:** Les requins *Carcharinus*, principaux destructeurs de ligne, disparaissent successivement dans l'ordre *C. amblyrhynchos* (170 m), *C. albimarginatus* (300 m), *C. plumbeus* (320 m). De toutes façons ils deviennent très rares après 260 m. Les requins squalidés qui les remplacent (*Squalus*, 2 spp, *Centrophorus*) avec le requin à six branchies (*Hexanchus vitulus*) font relativement peu de dommages.

En posant la longueur de palangre de 800 m proposée précédemment, trois fois par jour, quatre-vingt pour cent de la pêche d'environ 150 kg est constituée d'*Etelis*. Les calmars frais ou congelés fournissent le meilleur appât.

C'est la pêche que nous conseillons en raison de l'excellente qualité de ces vivaneaux rouge vif.

#### Pêche au moulinet

Le robuste moulinet à 'Red Snapper' des américains, remonté à main ou électriquement est recommandé sur les hauts fonds placés entre Ouvéa et Lifou, Lifou et Maré ainsi que sur le plateau insulaire étendu au sud de l'île des Pins. C'est entre 130 et 220 m qu'il est le plus utile, permettant parfois une pêche rapide. Dans la zone à *Etelis*, vers 300 m, son emploi est moins intéressant.<sup>1</sup>

### CONCLUSION

Les résultats satisfaisants obtenus dans l'expérimentation des palangres sur la partie profonde de la pente récifale et sur les bancs du large permettent de conseiller la création d'un petit armement de pêche profonde avec des bateaux de 10 à 15 m pourvus de compartiments à glace. La pêche s'exercerait surtout entre 280 et 350 m, sa durée pouvant être de cinq jours lorsque le temps le permet.



1. Note des éditeurs: Le projet CPS du développement de la pêche profonde utilise avec succès les moulinets manuels en bois mis au point par la FAO pour la pêche profonde. Ils sont simples, peu coûteux, utilisables avec un équipage limité et se sont avérés efficaces jusqu'à une profondeur de 400 m.



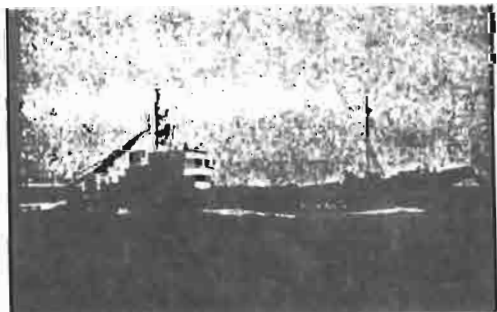


# Résultats des campagnes de prospection d'appât vivant en Nouvelle-Calédonie

F. CONAND et T. BOELY

Océanographes biologistes de l'ORSTOM (\*)

De nombreux éléments montrent que les ressources thonières de la zone économique exclusive de la Nouvelle-Calédonie sont prometteuses. C'est pourquoi, depuis 1980, plusieurs campagnes de pêche exploratoire ont été entreprises par la compagnie américaine Starkist, aussi bien avec des senneurs que des canneurs. Tous ces essais ont été positifs, bien que la pêche à la senne n'ait pas donné les résultats escomptés. Les accords de pêche passés avec le gouvernement japonais confirment par ailleurs, s'il en était encore besoin, que le thon est abondant dans cette zone. Mais, pour les canneurs japonais, le facteur limitant reste l'appât qu'ils ne sont pas autorisés à pêcher dans les eaux territoriales et qui est le plus souvent transporté depuis le Japon. Une société de pêche française s'est constituée à Nouméa et son premier canneur, le *Coralie*, a commencé à travailler depuis la fin du mois d'août 1981, deux autres unités devant arriver dans les mois à venir. Le développement d'une pêcherie de canneurs en Nouvelle-Calédonie rend l'estimation des ressources du lagon en appât vivant d'autant plus importante que d'autres projets d'exploitation sont en cours d'étude et de discussion.



Le « Coralie », canneur français de 52 m, 299 tx.

Dans un précédent article, publié dans *La Pêche maritime* d'octobre 1980, les auteurs, faisant la synthèse des connaissances sur l'appât vivant dans le Pacifique tropical Ouest, notaient que les ressources néo-calédoniennes paraissaient importantes et annonçaient le début d'une étude sur l'appât vivant en Nouvelle-Calédonie. Le point des résultats obtenus après quinze mois d'observations, avant le début de toute exploitation, est présenté ici.

## PROGRAMME D'ÉTUDE

L'étude des ressources en appât vivant du lagon de Nouvelle-Calédonie a été confiée à l'ORSTOM par le territoire de Nouvelle-Calédonie et dépendances. Elle est menée avec le navire océanographique *Vauban*, du centre ORSTOM de Nouméa, et répond aux objectifs suivants :

- Inventaire des meilleurs sites pour la capture d'appât vivant ;
- Inventaire des espèces pouvant être utilisées comme appât vivant ;
- Variations saisonnières des pêches ;
- Présence saisonnière et variations saisonnières de la taille chez les espèces les plus importantes ;
- Principaux aspects de la biologie des principales espèces ;
- Premières estimations de la biomasse disponible.

Cette étude a débuté en mars 1980 au rythme d'une campagne tous les deux mois. Dans un premier temps, elle s'est uniquement intéressée au lagon entourant la Nouvelle-Calédonie, négligeant ses extensions vers le Sud et le Nord, ainsi que les îles Loyauté. Huit campagnes ont été effectuées et ont déjà partiellement répondu aux quatre premiers objectifs. A partir de juillet 1981, le programme a reçu une nouvelle orientation, s'attachant plus particulièrement aux variations saisonnières et annuelles des rendements et à l'estimation de la biomasse disponible ; par ailleurs, les îles Loyauté et les lagons sud et nord sont explorés. Ce programme se poursuivra jusqu'en juin 1983.

Chaque campagne dure deux semaines au cours desquelles un nouveau site est visité chaque nuit ; en principe, deux pêches y sont effectuées, l'une vers 23 heures, l'autre avant le lever du jour. Dans le Pacifique tropical et en particulier en Nouvelle-Calédonie, où l'on observe rarement des bancs de petits pélagiques dans les zones navigables du lagon, l'emploi régulier, de jour, d'une senne ne peut être envisagé pour capturer l'appât. C'est pourquoi nous avons choisi de pêcher l'appât de nuit. La pêche se fait à l'ancre avec un filet vertical, un « bouki-ami ». Le poisson est concentré au moyen de lamparas immergés de forte puissance. Ce type de filet a été choisi parce qu'il est le plus employé dans le Pacifique tropical ouest et aussi en raison de sa simplicité de manœuvre, quelle que soit la configuration du fond et les conditions locales. Cette méthode de pêche a déjà été décrite par Boely et al. (1980). Une petite bolinche a été utilisée avec succès au cours d'essais.

(\*) B.P. A5, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie.

## LES RÉSULTATS

### Les sites prospectés et les zones

Au cours des huit campagnes, 207 pêches ont été effectuées dans 47 sites (fig. 1). Certains ont été suivis régulièrement, d'autres n'ont été visités qu'une seule fois.

Il existe des différences nettes entre le Sud et le Nord, la côte ouest et la côte est, les baies de la Grande-Terre et les coralliennes du lagon. Ces oppositions tiennent essentiellement à la configuration des côtes et à la nature des fonds. Par commodité, la Nouvelle-Calédonie a été divisée en quatre zones, aux limites arbitraires, et, au fur et à mesure des observations, ce découpage pourra être revu.

*La région ouest.* — Elle s'étend du Sud de Nouméa à la presqu'île de Poum. Le récif barrière est bien marqué et, entre la baie Saint-Vincent et celle de Chasseloup, il est très proche de la côte, formant de vastes platiers qui délimitent d'importants secteurs pratiquement inaccessibles à la navigation. Les baies sont nombreuses, peu profondes et parsemées d'îles ; souvent envasées, elles abri-

tent la plupart du temps de vastes mangroves. Les rendements sont bons et la variation saisonnière est moins marquée qu'ailleurs.

*La région nord.* — Elle comprend la baie de Banaré et l'estuaire du Diahot (baie d'Harcourt). La baie de Banaré est vaste, peu profonde avec de nombreuses îles. La mangrove y est très limitée. Au contraire, l'estuaire du Diahot, très grand et peu profond, possède une importante mangrove. Les courants de marée sont forts dans les chenaux, étroits et bien marqués, situés entre les platiers. Les rendements moyens dans ce secteur sont assez semblables à ceux observés dans l'Ouest avec toutefois une variation saisonnière bien marquée.

*La région est.* — Elle s'étend de Pouébo à Yaté. La côte est découpée, souvent accore; le lagon est plus profond que sur la côte ouest. Le récif barrière possède de larges ouvertures et s'interrompt parfois. Les platiers sont peu étendus et il n'existe pas de grande mangrove comme sur la côte ouest. Dans sa moitié nord, la côte ne présente pas de sites protégés des vents dominants. A partir de Kouaoua, on trouve des baies abritées et profondes permettant d'excellents mouillages comme celles de Laugier, Canala et Port-Bouquet (Thio). Les résultats obtenus dans cette région sont souvent médiocres.

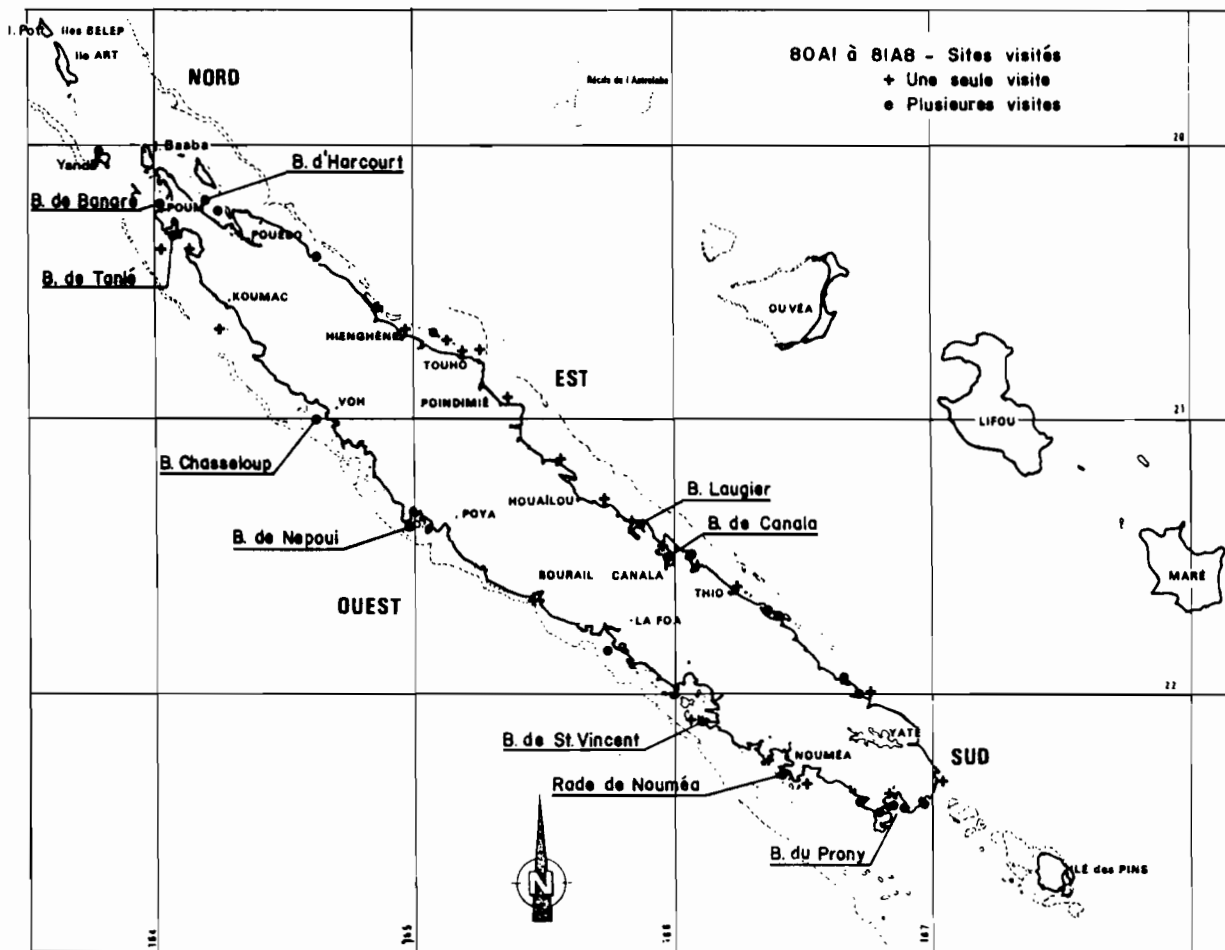


Fig. 1. — Sites visités avec indication des meilleures places pour faire l'appât.

**La région sud.** — Elle comprend la baie de Port Boisé, l'île Ouen et surtout la baie du Prony. Les sites sont très abrités, profonds avec des côtes accores. Les rendements sont irréguliers, surtout pendant le second semestre.

## Les espèces

Bety et al. (1980) ont fait la revue des espèces d'appât que l'on pouvait trouver dans le Pacifique tropical ouest. Parmi celles-ci, une quinzaine sont communes en Nouvelle-Calédonie où elles peuvent être employées comme appât vivant. Toutes ne possèdent pas les mêmes qualités et les mêmes saisons d'abondance et ci-dessous sont résumées les principales observations effectuées au cours des campagnes.

### Les sardines et sardinelles : clupéidés

— **La sardine :** *Herklotsichthys punctatus*. Cette espèce représente une part importante des captures (fig. 2). Elle peut atteindre une taille de 17 cm<sup>3</sup>, mais sa taille moyenne se situe entre 8 et 12 cm. Son maximum d'abondance (fig. 3) dans les pêche se place au cours du premier semestre où ce sont surtout des jeunes poissons qui sont capturés. Ils sont en général immatures et leur taille moyenne passe graduellement de 8 à 11 cm. Pendant cette période, la sardine reste de jour à la côte ou au-dessus des platiers, puis quitte cet abri pendant la nuit en gagnant des eaux plus profondes et se disperse, probablement pour se nourrir. Cette espèce se raréfie dans les prises à partir de septembre; elle paraît alors se concentrer et rester très près des côtes. C'est pendant cette période qu'intervient la reproduction. C'est un excellent appât qui présente une bonne survie en vivier.



*Herklotsichthys punctatus*

— **Les sardinelles :** *Sardinella sirm* et *S. leiogaster*. La première espèce est abondante et constitue aussi une part importante des prises. Elle atteint une taille supérieure à 20 cm et semble se reproduire en fin de second semestre. Les jeunes prédominent dans nos captures et, pendant le premier semestre, leur taille est comprise entre 10 et 15 cm. Celle-ci augmente régulièrement et elle dépasse 15 cm au cours du second semestre. Cette sardinnelle vit en eau profonde et ne se rencontre qu'exceptionnellement à la côte, sauf quand celle-ci est particulièrement accore. C'est un excellent appât lorsque sa taille est inférieure à 15 cm et il présente une bonne survie en vivier.



*Sardinella sirm*

L'autre sardinnelle, *S. leiogaster*, est plus rare et paraît vivre au large en eau profonde. Les jeunes de taille inférieure à 15 cm seraient un bon appât.

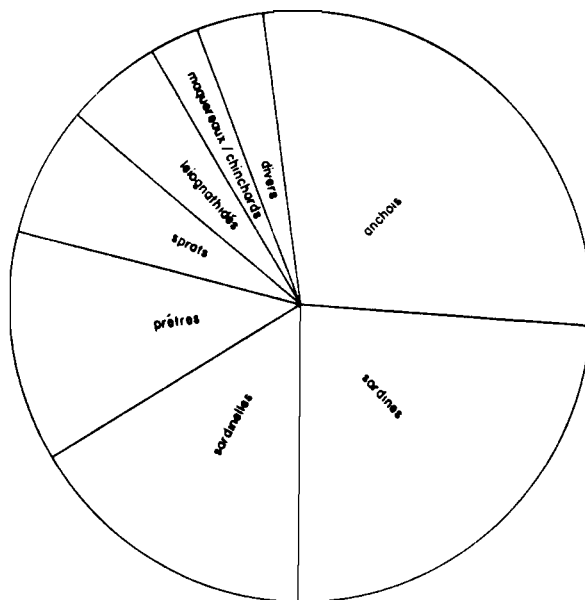


Fig. 2. — Répartition en pourcentage des espèces capturées de juillet 1980 à juin 1981 (A3 à A8).

(\*) Toutes les longueurs sont exprimées en longueur totale, c'est-à-dire du bout du museau à l'extrémité de la caudale.

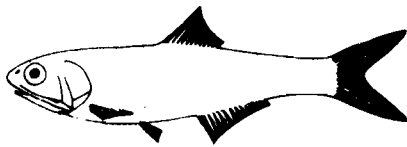
### Les anchois : engraulidés

Six espèces se rencontrent dans les captures, mais trois seulement sont abondantes : *Stolephorus heterolobus*, l'anchois bleu, *St. devisi*, l'anchois doré et *St. bataviensis*. La différenciation de certaines espèces a été délicate en début d'étude et les juvéniles de taille inférieure à 5 cm, en particulier ceux des anchois bleus et dorés, sont difficiles à séparer. C'est pourquoi tous les anchois ont été regroupés sous une même rubrique dans les figures.

— **L'anchois bleu :** c'est l'espèce la plus fréquemment capturée. Il est abondant surtout au premier semestre dans de nombreuses baies modérément envasées. Sa taille moyenne est de 5 à 8 cm et il atteint une taille maximale de 10 cm. C'est un des meilleurs appâts, bien que sa tenue en vivier ne soit pas excellente.

— **L'anchois doré :** cet anchois est lié aux fonds de baies envasées possédant des mangroves. Cet habitat explique qu'il soit moins abondant dans les captures du *Vauban* qui n'a pêché qu'exceptionnellement dans de tels lieux. L'anchois doré a donné des tonnages importants en baie de Canala. C'est un anchois de petite taille, comprise entre 5 et 7 cm, et il serait plus abondant au premier semestre. Il est considéré comme un bon appât, mais on ne connaît pas sa tenue en vivier en Nouvelle-Calédonie.

— ***Stolephorus bataviensis* :** cet anchois est aussi lié aux baies envasées avec mangroves et on le capture souvent



*Stolephorus betaviensis*

avec les anchois dorés. Par son abondance, c'est la seconde espèce d'anchois dans les prises. Il atteint une taille de 11-12 cm, mais la taille moyenne des poissons est comprise entre 8 et 11 cm, suivant la saison. Il est, lui aussi, plus fréquent au cours du premier semestre. Sa tenue en vivier serait moyenne et les pêcheurs le considéreraient comme un appât moyen.

— Autres anchois : jusqu'à présent, les trois autres espèces que nous avons pu observer n'ont pas paru particulièrement abondantes et n'ont pas donné de tonnages importants.

**Les sprats : dussumériidés**

Il existe deux groupes d'espèces très différents, le grand sprat et les petits sprats.

— Le grand sprat, *Dussumieria acuta*, de taille le plus souvent comprise entre 14 et 16 cm, peut atteindre 18 cm. Il est surtout capturé dans le Nord et l'Ouest de la Nouvelle-Calédonie pendant le second semestre et il peut parfois donner l'essentiel de la pêche en certains endroits. Considéré comme un excellent appât malgré sa taille, il

n'est guère recherché car sa survie en vivier est très courte, de quelques heures à quelques jours au maximum. Il est peu abondant pendant le premier semestre où l'on ne capture que quelques jeunes.

— Les petits sprats, deux espèces de *Spratelloides*, sont adultes dès la taille de 4 cm et ne dépassent pas 7 cm. Très fréquemment présents en toute saison dans les prises, ils ne sont cependant jamais abondants. Ce sont des espèces qui préfèrent les eaux claires et il est possible qu'ils soient plus abondants dans les secteurs sous l'influence du large. Très vifs, ils sont réputés comme étant d'excellents appâts, bien que fragiles.

**Les prêtres : athérinidés**

Il existe au moins deux espèces de prêtres, la principale étant *Pranesus pinguis*, composante importante des captures. Abondants en toute saison, leur taille moyenne est comprise entre 9 et 12 cm suivant le moment de l'année; les plus petits se rencontrent plutôt pendant le premier semestre. Le prêtre possède le même habitat que la sardine à laquelle il est souvent mêlé. La reproduction débute en septembre. Très robuste en vivier, où ils peuvent survivre pendant plusieurs semaines, les prêtres sont considérés comme un appât médiocre en raison de leur comportement lors de l'appâtage.

**Autres espèces**

Bien d'autres espèces ont été rencontrées pendant les pêches. Parmi celles-ci, il faut citer certains chinchards et le maquereau qui sont d'excellents appâts, robustes, lorsqu'ils ont une taille inférieure à 12 cm. Les individus

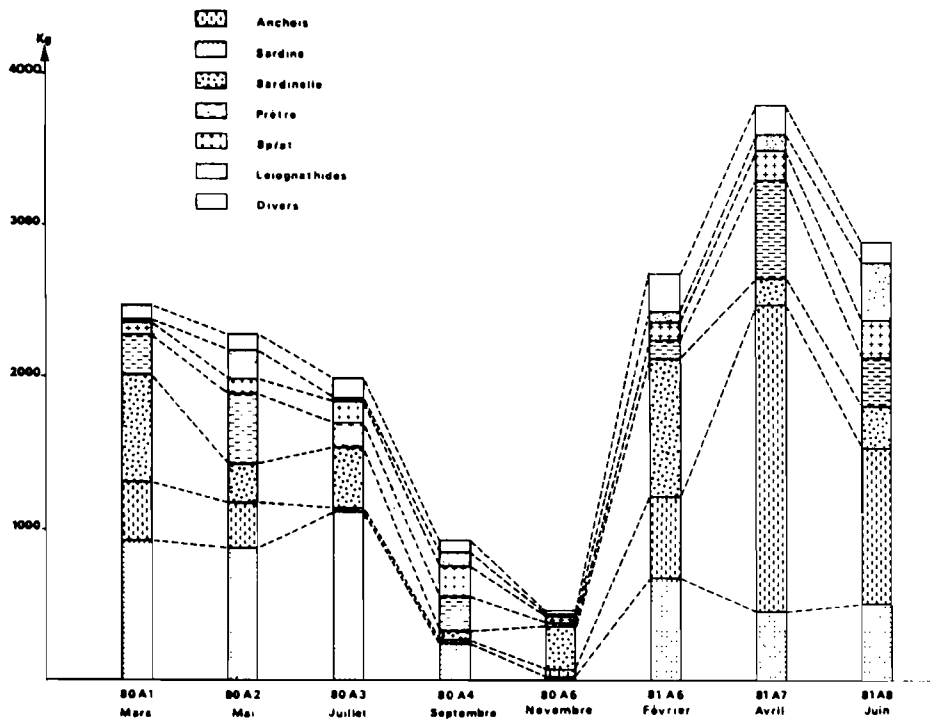


Fig. 3. — Campagnes A1 à A8 : prises totales et par espèces.

de cette longueur ne se rencontrent que pendant une courte période du premier semestre. Lorsqu'ils atteignent une taille supérieure, leur présence dans les pêches est gênante car ils font de gros dégâts dans les viviers, se nourrissant des autres espèces ou les blessant.

## Les prises

### Quantités capturées

Elles s'échelonnent d'une pêche quasi nulle, c'est-à-dire quelques individus, jusqu'à 674 kg par coup de filet, avec une moyenne de 85 kg. Il faut préciser qu'elles ont été réalisées avec un bouki-ami de taille nettement inférieure à ceux utilisés par les canneurs japonais.

Les prises passent par un minimum au printemps austral (septembre, octobre, novembre), lors de la période de reproduction de la plupart des petits pélagiques, et par un maximum cinq ou six mois plus tard. Il faut noter la prédominance de certaines espèces suivant la saison et les quantités accrues d'anchois capturées en 1981 au dépens des sardines et sardinelles. Cependant, il ne faut pas oublier que les deux premières campagnes en mars et en mai 1980 furent des campagnes d'essai et de mise au point des méthodes de pêche. Pour cette raison, la répartition en pourcentage des différents groupes d'espèces a été établie à partir des campagnes 80 A 3 à 81 A 8, qui ont eu lieu entre juillet 1980 et juin 1981 (cf. tableaux).

Certaines zones sont nettement plus productives que d'autres. Ainsi, les rendements (prise par coup de filet) sont nettement supérieurs dans les zones ouest et nord que sur la côte est (tableau 1). Sur celle-ci, la région de

Hienghène et de Touho apparaît vraiment comme le secteur le moins bon de toute la Nouvelle-Calédonie. La région sud, essentiellement la baie du Prony, ne paraît productive que pendant le premier semestre.

### Composition par espèces

Lorsque les prises sont supérieures à 100 kg, une ou deux espèces, en général anchois, sardine ou sardinelle, constitue l'essentiel de la capture. Les anchois, quand ils sont présents, forment souvent des bancs extrêmement denses qui permettent des prises de plusieurs centaines de kilogrammes. Les prises supérieures à 500 kg sont rares, ce qui est probablement dû à la faible surface du filet.

D'une pêche à l'autre, en un même lieu, les quantités et la composition spécifique peuvent varier fortement. Ainsi, pendant trois nuits consécutives au même point d'ancrage, huit pêches ont été effectuées et les résultats ont été bien différents.

### Qualité de l'appât

Les espèces ont été réparties, en fonction de leurs qualités, en quatre catégories. Seul l'attrait du poisson vis-à-vis du thon a été retenu pour le choix des catégories, la survie en vivier étant liée à bien des facteurs indépendants de l'espèce.

1) Bon appât : anchois et petits sprats; sardines, sardinelles, grands sprats, chinchards et maquereaux de poids inférieur à 15 g (moule inférieur à 65 individus/kg).

2) Bon appât, mais de grande taille : sardines, sardinelles et grands sprats de poids compris entre 15 et 30 g (moule compris entre 30 et 65 individus/kg).

Tableau 1. — Rendement par pêche et par secteur, pendant les huit campagnes de prospection

Zone	A 1 mars 1980	A 2 mai 1980	A 3 juill. 1980	A 4 sept. 1980	A 5 oct.-nov. 80	A 6 janv.-févr. 81	A 7 mars-avr. 81	A 8 mai-juin 81
Ouest .....	127	105	111	52	45	95	163	170
Nord .....	197	153	171	47	7	128	155	67
Est .....	39	31	14	15	3	70	108	56
Sud .....	130	156	23	35	15	147	144	107
Moyenne générale.	112	88	81	36	19	102	139	103

Tableau 2. — Prises et pourcentages des quatre catégories d'appât

	A 1 mars 1980		A 2 mai 1980		A 3 juill. 1980		A 4 sept 1980		A 5 oct.-nov. 80		A 6 janv.-févr. 81		A 7 mars-avril 81		A 8 mai-juin 81	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
1. Bon appât .....	2 000	81	1 433	53	33	2	287	30	79	17	2 290	86	2 491	66	1 048	36
2. Appât de grande taille .....	42	2	352	13	1 275	63	205	22	41	9	0	0	343	9	1 006	35
3. Appât médiocre	294	11	831	30	172	8	291	30	40	8	192	7	746	20	652	23
4. Ne peut servir d'appât .....	151	6	100	4	526	27	177	18	313	66	192	7	206	5	168	6
Prises totales .....	2 567		2 716		2 016		960		473		2 674		3 786		2 874	

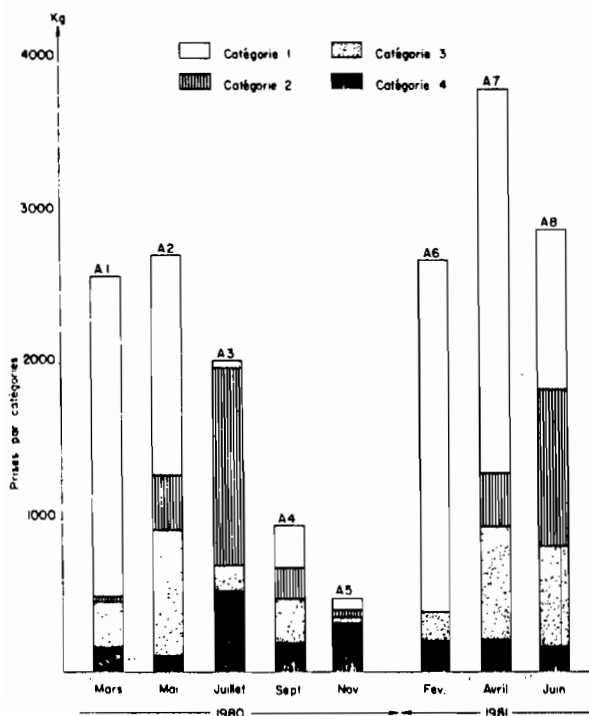


Fig. 4. — Campagnes A1 à A8 : prises par catégories. Catégorie 1 : bon appât ; catégorie 2 : bon appât, mais de grande taille ; catégorie 3 : appât médiocre ; catégorie 4 : ne peut servir d'appât.

3) Appât médiocre : prêtres, léiognathidés.

4) Ne peut servir d'appât : autres espèces, sardinelles de poids supérieur à 30 g. chinchards et maquereaux de poids supérieur à 15 g.

Sauf en novembre, les deux premières catégories représentent plus de la moitié des apports et dépassent même 80 % des prises pendant le premier trimestre (tableau II, fig. 4). De janvier à avril, les poissons sont de petite taille, ce qui fournit un appât d'excellente qualité: leur taille

moyenne augmente dans les mois qui suivent. La part des deux autres catégories s'accroît nettement à partir de juin et devient prépondérante en novembre: ceci est lié à une chute spectaculaire des prises en relation avec l'absence d'appât de qualité dans les captures.

## CONCLUSION

Les études en cours et l'analyse des pêches d'appât des canneurs qui arrivent en Nouvelle-Calédonie apporteront bien d'autres informations sur l'appât vivant. Il est déjà possible de tirer des enseignements des huit campagnes effectuées de mars 1980 à juin 1981.

Une dizaine d'espèces, principalement anchois, sardines et sardinelles, peuvent fournir de l'appât de qualité. Ceci permet d'envisager une exploitation du thon à la canne à partir de la Nouvelle-Calédonie et cet appât pourrait alimenter une flottille de canneurs de petite dimension, quoique l'on ne connaisse pas encore l'état exact des ressources en appât.

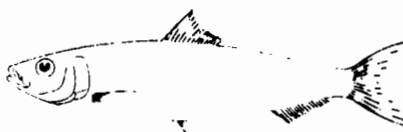
La variabilité saisonnière est forte. L'appât est de bonne qualité et abondant pendant le premier semestre. Il est possible qu'il soit insuffisant pendant le second semestre, au cours duquel les poissons sont de plus grande taille et moins abondants.

Il faut souligner que les lieux de pêche étaient choisis afin d'explorer le plus possible de sites tout autour de la Nouvelle-Calédonie, sans objectif de rentabilité, et les rendements par secteur ou par campagne ne sont qu'indicatifs. A l'inverse, des navires de pêche auraient concentré leur effort sur les meilleures zones et n'auraient pas visité certains sites dont la médiocrité était présumée.

## Références

BOELY (T.), CONAND (F.), MUYARD (J.), 1980. — « L'appât vivant dans le Pacifique tropical Centre et Ouest », *La Pêche maritime*, 1231, octobre 1980.

N.B. — Les dessins de poissons, extraits des fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche (1974), ont été ajoutés par la revue.



*Sardinella leiognaster*





SEA SURFACE TEMPERATURE AND THE FORMATION OF TROPICAL STORMS IN THE SOUTH PACIFIC

---

(ABSTRACT)

DONGUY, J.R., S. BEGAUD, R. EBSTEIN and B. CALVEZ

-

MET MAR 103, 1979 : p. 51-55

-

More than the sea surface temperature, the heat content of the ocean seems to be involved in the formation of tropical storms. In the western Pacific, two hydroclimatic situations may be pointed out : a) periods when equatorial upwelling occurs. In this case, the main heat content between 100 m depth and the surface is located west of 180°, between 10°N and 10°S, b) periods without equatorial upwelling. In this case, cooling occurs west of 160°E and the main heat content is located in the southern hemisphere between 160°E and 140°W.

In the first case (equatorial upwelling) most of the tropical storms originate west of 180° and only 16 % of them east of 180. In the second case (without equatorial upwelling), 31 % originate on the east of 180°. This change in the location of the tropical storms may be due to the change in the location of the heat pool of the Pacific.

Since 1979, heat content is monitored by XBT in the tropical Pacific, and this experiment will lead to further progress in the knowledge of the tropical storms formation.

--



(ABSTRACT)

BINET, D., Y. DANDONNEAU, J.R. DONGUY, B. de GEOFFROY and C. HENIN

-  
MET MAR 104, 1979 : p. 32-36  
-

Since 1969, the ORSTOM Center of Noumea tend to developp a Pacific Ocean monitoring with the ship's crew cooperative work. In a first step, meteorological data and superficial temperature and salinity were collected. Then, phytoplankton has been filtered for chlorophyll determination in the laboratory. Finally, a small plankton net has been fastened on the water intake of the ship's swimming pool for sampling zooplankton. Starting in 1979, 11 ships of opportunity are now equipped to launch expendable bathythermographs. This paper deals with the trips of the "Rodin" from Panama to Tahiti in June and September 1978.

The superficial and vertical isotherm distribution clearly shows an equatorial upwelling pattern - North and south of the equator, the fluctuations of the isotherm slope are probably related to the equatorial counter-currents. Surface salinity maximum, greater than 36‰, lies at 12°S. It corresponds to warm water and intense evaporation. Around the equator the doldrum rainfalls slightly depress salinity, as do rivers effluents near the american coast.

The chlorophyll concentration is slightly increased at the equator for the first trip. But, during the second cruise, the equatorial divergence is more active and two phytoplankton peaks are recorded from both side of the equator, according to the time lag necessary for young upwelled water to developp phytoplankton populations. Total Copepod number, used as an index of zooplankton abundance, increases too, from Tahiti to equator, roughly following the chlorophyll pattern.

The aim of this program is to go further than the description of single transects, as it tends to an intertropical monitoring using superficial biological parameters associated with physical records.



VARIATION IN BAROCLINIC STRUCTURE ON SHIPPING ROUTES FROM  
NEW CALEDONIA TO JAPAN, CALIFORNIA AND PANAMA

(ABSTRACT)

-  
C. HENIN\*, G. MEYERS\*\*, J.P. REBERT\*

\* ORSTOM Centre in Noumea, P.O. Box A5, New Caledonia

\*\* SCRIPPS Institution of Oceanography, La Jolla California

--  
Communication présentée à : American Geophysical Union Fall Meeting  
San Francisco, California (USA) December 7/11/81 -

--  
Baroclinic structure of the tropical Pacific Ocean has been monitored since 1979 using bathythermographs (XBT) launched by the Officers of merchant vessels (ships of opportunity). The reliability of these observations taken from research vessels with hydrologic casts in regions where both types of data are available is discussed. The observations from ships of opportunity are then used to describe the variability in baroclinic structure (dynamic height 0/450 db or thermocline depth) in regions east and west of the shuttle. In the vicinity of the North Equatorial Countercurrent variability is dominated by the seasonal cycle. The phase of this cycle changes only slightly between 140°W and 150°E by an amount which cannot be considered significant with the short records that are presently available.

In the vicinity of the South equatorial countercurrent variability is also dominated by lower frequencies but does not appear to be seasonal.

Sea level records are used to show how the conditions observed in 1979/80 compare the variability observed during earlier years.

-



THE SEA SURFACE SALINITY VARIATIONS IN THE INTERTROPICAL CENTRAL  
AND WESTERN PACIFIC OCEAN

(ABSTRACT)

-

J.P. REBERT, A. MORLIERE, C. HENIN  
ORSTOM Centre in Noumea, P.O. Box A5, New Caledonia

--

Communication présentée à : American Geophysical Union Fall Meeting  
San Francisco, California (USA) December 7/11/81 -

--

Using surface salinities data collected by ships of opportunity on the routes New Caledonia - Japan, Suva-Honolulu and Sydney - Los Angeles, the main features of the salinity field variations are studied from 20°S to 20°N. The annual cycle is described and the connection with the equatorial currents system is discussed. The interannual variability exhibit significant differences in the Western and Central Pacific area. The monthly anomalies computed for the period 1975-1980 are compared. Some characteristic changes in the salinity pattern associated with the 1976 El Nino phenomenon are observed in both areas. During the Shuttle Experiment however the salinity field appeared to be slightly normal in the central Pacific, but looked highly unusual in the western Pacific. The relationship between the surface salinity and the rainfall anomalies is briefly discussed.

-





AN EXPENDABLE BATHYTHERMOGRAPH AND SEA-SURFACE TEMPERATURE  
EXPERIMENT IN THE EASTERN AND WESTERN PACIFIC

---

(ABSTRACT)

J.R. DONGUY, and C. HENIN

JSC/CCCO Meeting on Time Series of Ocean Measurements,  
Tokyo 11-15 May 1981, Proceedings p. 123-133.

Since 1969, the "Centre ORSTOM de Nouméa" has operated a surface observation system with the help of merchant ships along 5 main routes crossing the Pacific Ocean. In 1979 XBTs have been gathered along 4 of these routes. In this study the data from Noumea-Japan and from Tahiti-Panama have been taken into consideration. Along the Tahiti-Panama route, a 1955-1978 SST record exists. Seasonal variations are obvious and the regime is mainly austral. Interannual variations are due to the occurrences of El Nino. From XBT observations, the depth of the thermocline is maximum in cold season and minimum in warm season. Heat content confirms this feature.

Along the Noumea-Japan route, SST record exists since 1969. Seasonal variations are noticed north and south of 10° latitude. Between them, there is no seasonal variations : temperature varies from 28°C to 30°C, with long periods of cool (28°C) and warm (30°C) waters. Equatorial upwelling is not marked by SST changes. From XBT observations, one notices that in tropical area warm water occurs in small thickness and cool water in great thickness. In the equatorial area, a thermocline trough occurs all the year, with a mixed layer depth more than 100 meters. Dynamic heights computed from XBT observations shows the importance of Eastward Counter-Currents. Heat content is small with weak seasonal variations and is characteristic of a post El Nino period.



# MACROPLANKTON AND MICRONEKTON OF THE TROPICAL ATLANTIC OCEAN

## I : BIOMASSES AND TAXONOMIC COMPOSITION

---

### (ABSTRACT)

C. ROGER

Océanographie Tropicale 17(2), 1982, in press

-

Macroplankton-micronekton (i.e. animals 0.5-10 cm long approx.) of the equatorial zone of the Gulf of Guinea has been investigated in August 1978 (season of equatorial upwelling activity) and April 1979 ("warm season") from 3°40N. to 10.18°S. on 4°W. Crustaceans account for 57 % of the whole catch in terms of biomass, and Fish for 29 %. The area enriched by the equatorial divergence and by the thermal ridge, i.e. from 0°30S. to 4°S. approximately, is, as a mean, 4 times richer than oligotrophic tropical waters south of 9°S. : 1 gram dry weight under 1 square meter (mean annual value), that is 17 tons live (wet) weight under 1 square mile. North of the equator, biomass values are close to 0.7 g dry weight per m<sup>2</sup>. Seasonal variations are strong at 2-3°S. (coeff. 1.86), waters being richer when the divergence is active (July-September) ; they are weak at the equator (coeff. 1.12), and negligible both north of the equator and in the oligotrophic waters south of 9°S. 47 % of the whole biomass concentrates at night within the upper 100 m, but only 6 % remain in this layer in the daytime. As a whole, it is estimated that 23 % of the products excreted by the macroplankton-micronekton are released in the 0-100m layer where they are immediately available for recycling through primary production.



MACROPLANKTON AND MICRONEKTON OF THE TROPICAL ATLANTIC OCEAN  
II : PHOSPHORUS AND NITROGEN CYCLES, WITH NOTES ON THE  
MEASURE OF SECONDARY PRODUCTION

---

(ABSTRACT)

C. ROGER

Océanographie Tropicale 17(1), 1982, p. 85-96

-

Nitrogen and phosphorus excretion, and body content in N and P, have been measured on 187 macroplanktonic and micronektonic animals (mainly crustaceans) taken individually, during 2 cruises in the tropical Atlantic (3°40N. to 10°18S. on 4°W.). Individual differences in excretion rates among animals of the same species are strong, but it is nevertheless possible to get mean reliable values for each taxonomic group. These values, expressed per mg dry body weight, range from 0,25 to 0,42  $\mu\text{atg}$  per day for total N and from 0,019 to 0,040  $\mu\text{atg}$  per day for total P for most groups, depending on species. Seasonal and latitudinal differences are weak within the investigated area. The mineral fraction amounts as a mean to 63 % of the total excretion for N ( $\text{NH}_4$ ) and 80 % for P ( $\text{PO}_4$ ). Body content in carbon, nitrogen and phosphorus is roughly the same in the different taxonomic groups, except gelatinous organisms. Turnover values range from 16 to 31 days for N and from 11 to 22 for P. Total quantities of N and P excreted by the macroplankton-micronekton (i.e. animals 0.5 to 10 cm long approx.) amount respectively to 400 and 30  $\mu\text{atg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  in the equatorial divergence, and to 70 and 5  $\mu\text{atg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  in oligotrophic waters (10°S), the difference between regions originating from the existing biomass rather than from different excretion rates. 23 % of the excreted products are released in the upper 100 meters, where they are directly available for phytoplankton. Quantitatively, it is estimated that excretion of N and P by the macroplankton-micronekton amounts to some 8 % of that of the smaller zooplankton (50-5000  $\mu$ ), which comprises animals with very high excretion rates due to their small size. Thus, despite a noticeable biomass (approx. half of that of the smaller zooplankton), macroplankton-micronekton only plays a minor role in recycling nutrient salts.

The feasibility of using the C/N/P ratios method for measuring secondary production in tropical macroplankton-micronekton is discussed.



## BIOECOLOGICAL SHEETS ON TROPICAL PACIFIC EUPHAUSIIDS

---

### (ABSTRACT)

C. ROGER

-

ORSTOM, Initiations-Documentations Techniques, N° 36, 1978, 81 pp.  
ISBN 2.7099.0499.3 (In French and English).

-

Purchase order : ORSTOM, SSC, SCD, 70-74 Route d'Aulnay, 93140  
BONDY, France.

-

Data from approximately 1,000 samples collected during 10 years in the Tropical Pacific Ocean, are used to draw up individual sheets about each of the 38 euphausiid species encountered in these regions. The following items are considered : General Features, Mean Size and Individual Wet Weight, Quantitative Distribution, Trophic Situation (Trophic Level, Feeding Rhythm, Weight of Stomach Content, Mean Repletion of Stomach, Main Predators) and Reproduction (Fecundity, Weight of mature ovary, Estimated Life Span).





## AERIAL RADIOMETRY AND TUNA SURVEY : NEW CALEDONIA

(Final Report under the Agreement : Restricted)

### (ABSTRACT)

PETIT, M. and F. GOHIN

-

This report summarises the data gathered by aerial radiometry and tuna survey operations conducted between February 1979 and November 1981 around New Caledonia, Vanuatu, Wallis and Futuna. The purpose of these operations was to estimate the surface tuna potential in the E.E.Z. of New Caledonia and of Wallis and Futuna.

The report confirms the conclusion of the ones previously submitted, as regards the geographical and seasonal distribution of tuna in these areas, and considers these findings in the hydroclimatic and fisheries context of the region. A mathematical model was developed to allow flights conducted under different conditions to be compared with one another ; it is based on the concept of "unit of searching effort". The highest rate of sightings was obtained near the frontal zones (surface temperatures between 25°C and 26°C) and in in-shore areas (islands, sea mounts, reefs). Tuna sightings and hydrological features are analysed comparatively, in three periods centered on October, January and June.

The records of commercial fleets (both seine and pole-and-line) fishing during the aerial survey periods have been analysed, particularly for those whose activities were closely co-ordinated with the aerial operations.

Finally, an evaluation of the methodology of aerial surveys has been attempted.

—



## AERIAL RADIOMETRY AND TUNA SURVEY : VANUATU

(Final Report under the Agreement : Restricted)

### (ABSTRACT)

PETIT, M. and C. HENIN

Notes et Documents d'Océanographie n° 3, Mission ORSTOM à VANUATU

This is the final report on the aerial survey and radiometry operations aimed at assessing the fisheries potential of the surface schooling tuna in the Vanuatu area. The survey was carried out under an Agreement concluded between the Vanuatu Government and ORSTOM.

This report reviews the conclusions of the three preliminary reports. It also analyses all the results obtained in the study area (164°E - 173°E 11°S - 22°S), interpreting them in their fisheries and hydroclimatic context. It was established that thermal fronts and surface tuna were, as a rule, present throughout the year in the area considered and that, consequently, the results of the aerial survey were a representative sample, despite the small number of sightings and of flying hours.

A mathematical model was developed to allow the flights carried out under a variety of conditions to be compared with one another ; it is based on calculation of a "unit of searching effort". With this approach, the effect of environmental factors on abundance of sightings can be evaluated. The effect of surface ocean currents on tuna concentrations in this area has been described. The majority of the schools sighted were found to be made up of skipjack ; 25 % were yellowfin schools. Most schools were associated with birds.

Finally, the report gives a rough estimate of the catch potential, considers fisheries prospects, and suggests guidelines for further research.



# AERIAL RADIOMETRY AND TUNA SURVEY : FRENCH POLYNESIA

---

(Final Report ; Restricted distribution)

## (ABSTRACT)

PETIT, M. and M. KULBICKI

NOTES et DOCUMENTS n° 17, Centre ORSTOM de TAHITI

Five hundred hours of aerial radiometry and tuna survey have been conducted in French Polynesia from February to December 1981. The Society Islands, the Tuamotu Archipelago and the Marquesas Islands were equally prospected. The results of these surveys are studied in conjunction with the hydroclimatic and fishing environment of French Polynesia.

Because of the scarcity of high thermal gradients, radiometry could not assist in tuna spotting in areas presenting thermic abnormalities. Flying time has been divided into "research effort units". These units take into account spotting conditions. This allows to compare areas under a variety of conditions.

During these surveys schools of tuna were sighted on 171 occasions. The sightings were mainly done over waters at 27-28°C and with either very sunny or very cloudy sky. Tuna school density decreased with distance from land for both the Society and Tuamotu Islands, but no such trend could be detected for the Marquesas Islands. However, bird flock density did decrease with distance from land in all three areas. Schools were usually skipjack. Most of the schools sighted were less than 30 tonnes. Schools were spotted at the surface more often in the Society Islands than in the Tuamotu or Marquesas Islands. Likewise, bird flocks were indicators of tuna more frequently in the Society Islands than in Tuamotu or Marquesas Islands. These tuna spotting surveys have demonstrated the importance of bird flocks in aerial sighting of tuna and the necessity to improve our knowledge on the relationships between bird and tuna.

The tonnage of tuna visible by plane has been roughly estimated for the best sampled areas. Simultaneous surveys employing fishing vessels and a spotting plane would be necessary to gauge the tonnage estimated by plane to the tonnage catchable by various fishing methods.

Based upon the results of our analysis, a brief development plan is presented. This plan proposes extended surveys by foreign tuna purse-seiners and pole-and-line vessels and the use of Floating Aggregative Devices. In this framework, serial spotting and airborne radiometry could be complemented by airborne measurements of conditions such as salinity, water colour... This airborne prospection could be coupled to results of satellite data analysis.



PURSE SEINE AND POLE-AND-LINE TUNA FISHERIES IN THE TROPICAL PACIFIC OCEAN

---

(ABSTRACT)

MARCILLE, J. and W. BOUR

-

Travaux et Documents de l'ORSTOM, 134, 1981 : p. 1-259

-

After a brief review of skipjack and yellowfin biology, the activity of the different tuna fishing fleets, using pole-and-line or purse seine, and working in tropical Pacific, are described.

The main features and performances of the following fisheries are given :

- Eastern Pacific fisheries
- Japanese purse seine fishery in New Guinea
- Purse seine fishery in New Zealand
- Purse seine fishery in Philippines
- Japanese pole-and-line fishery in western Pacific
- Pole and line fisheries in New Guinea, Salomon Islands and Fiji.

Several surface tuna fishing experiments are described. These experiments concern new fishing areas such as :

- French Territories (New Caledonia, Polynesia, Wallis and Futuna)
- Vanuatu, Tonga, Tuvalu, Kiribati...

This synopsis ends with considerations upon the meteorological conditions found in the new potential fishing areas and also upon the relationship between tuna and hydrology.

--